

PERENCANAAN SISTEM KOMUNIKASI DI MEA BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN FREKUENSI KU - BAND

TUGAS AKHIR

fy 30.000 -

PERPUSTAKAAN	
Tgl. Terima	13.7.2000
Terima Oleh	H
No. Agenda Pzp.	21.928

Oleh :

ACHMAD SOEBAIRI

NRP. 2295 109 027



RSE
621.304
200
P-1
1099

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
1999

PERENCANAAN SISTEM KOMUNIKASI DI MEA
BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN FREKUENSI
KU - BAND

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
S u r a b a y a

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. FAISAL GUNAWAN

NIP. 130 325 773

Dosen Pembimbing II



Ir. DJOKO SUPRAJITNO. R

NIP. 131 651 447

S U R A B A Y A
Februari, 1999

ABSTRAK

Penggalian tanah untuk saluran kabel merupakan suatu hal yang cukup riskan dilakukan terutama di kota-kota besar, apalagi jika jaringan tersebut melewati jalan utama, ataupun bangunan-bangunan yang ada. Mengingat kondisi yang demikian dan pertimbangan untuk mempertahankan lokasi sentral-sentral yang ada, maka penggunaan frekuensi radio adalah suatu hal yang patut diperhitungkan. Salah satu sistem yang disarankan untuk digunakan adalah sistem transmisi gelombang mikro digital dengan frekuensi KU-Band.

Penggunaan frekuensi KU-Band untuk sistem komunikasi ini mempunyai beberapa keunggulan. Namun karena frekuensi KU-Band berada diatas frekuensi 10 GHz, maka faktor redaman hujan dan absorpsi atmosfer tidak dapat diabaikan lagi seperti halnya pada frekuensi C-Band. Terlebih lagi dengan melihat posisi geografis Indonesia yang beriklim tropis dengan curah hujan tahunan yang relatif tinggi, maka faktor redaman dan faktor-faktor kerugian lain yang diakibatkan oleh curah hujan merupakan faktor dominan bagi sistem propagasi gelombang mikro KU-Band. Tugas akhir ini mencoba menganalisis kemungkinan penggunaan frekuensi KU-Band pada frekuensi 11,2 GHz untuk sistem komunikasi digital antar sentral yang ada di Multi Exchange Area Bandung.

Dari hasil perhitungan dan studi kepustakaan dapat dikatakan bahwa penerapan frekuensi KU-Band (11,2 GHz) di MEA Bandung memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan oleh CCIR.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamiina kami panjatkan puji syukur atas berkat rahmat, hidayah dan kuasaNya lah, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **"Perencanaan Sistem Komunikasi Di MEA Bandung dengan Menggunakan Frekuensi KU-Band"**.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program pendidikan sarjana pada jurusan Teknik Elektro, di Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ir. Djoko Suprajitno Rahardjo selaku pembimbing II, atas pengorbanan waktu dan pikiran dalam memberikan bimbingan tugas akhir ini.
2. Ir. Faisal Gunawan selaku pembimbing I, atas kesabarannya dalam memberikan bimbingan dan pengarahan dalam pelaksanaan tugas akhir.
3. Ir. M. Aries Purnomo selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi, atas saran dan bantuannya selama ini.
4. Ir. Teguh Yuwono selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
5. Rekan Eris Syarif M. yang telah membantu dalam perolehan data-data serta literatur-literatur selama ini.
6. Bapak, Ibu serta Istriku yang dengan setia mendampingi selama penyusunan tugas akhir ini.

7. Rekan-rekan sejawat yang ada di Teknik Elektro ITS serta rekan kerja, yang telah memberikan bantuan baik material maupun spiritual.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Harapan kami agar tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Januari 1999

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metode Pemecahan Masalah	4
1.5 Sistematika Pembahasan Masalah	4

BAB II PROPAGASI GELOMBANG RADIO	6
2.1 Redaman Ruang Bebas	7
2.2 Pengaruh Atmosfer dan Sifat Medan pada Propagasi	8
2.2.1 Pembiasan (Refractivity)	8

2.2.2 Gradien Index Bias	10
2.2.3 Pantulan	12
2.2.4 Fresnel Zone	15
2.3 Fading	17
2.3.1 Fading Lintasan Jamak	17
2.3.2 Obstruction Fading	20
2.3.3 Power Fading	20
2.3.4 Duct Fading	22
2.4 Masalah Propagasi untuk Sistem di atas 10 Ghz	23
2.4.1 Redaman Atmosfer	24
2.4.2 Rugi-rugi karena Curah Hujan (Rain Fall Loss)	25
2.4.2.1 Dasar Pertimbangan Pengaruh Hujan	27
2.4.2.2 Pengaruh Hujan bagi Lintasan LOS	28
2.4.3 Redaman Karena Awan dan Kabut	35
2.5 Diversitas	37
2.5.1 Sistem Diversitas Frekuensi	37
2.5.2 Sistem Diversitas Ruang	40
2.6 Profil Lintasan	44
BAB III PERENCANAAN LINK RADIO DIGITAL	47
3.1 Daya Pancar Isotropik Efektif	47
3.2 Penguatan Sistem	47
3.3 Faktor Derau (Noise Figure)	51

3.4 Penguatan Antena	53
3.5 Cadangan Fading	56
3.6 Penempatan Frekuensi	58
3.7 Perhitungan Tinggi Antena	59
3.8 Unjuk Kerja Sistem	62
3.8.1 Bit Error Rasio	62
3.8.2 Waktu Terlampaui	63

BAB IV PERANCANGAN LINK RADIO DIGITAL ANTAR

SENTRAL DI MEA BANDUNG	66
4.1 Penentuan Tinggi Antena Setiap Hop	68
4.2 Penentuan Redaman Hujan untuk Daerah Bandung	68
4.2.1 Data Curah Hujan Daerah Bandung	69
4.2.2 Perhitungan Redaman Hujan	72
4.3 Penentuan Redaman Atmosfer	76
4.4 Penentuan Redaman Awan dan Kabut	78
4.5 Penentuan Kinerja Setiap Hop	78

BAB V ANALISA HASIL PERHITUNGAN

5.1 Analisa Redaman Hujan	85
5.2 Analisa Redaman Atmosfer	86
5.3 Analisa Redaman Karena Awan dan Kabut	87

5.4 Analisa Unjuk Kerja Sistem	88
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	 93
6.1 Kesimpulan	93
6.2 Saran	95

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mekanisme Pembiasan	9
Gambar 2.2 Lengkung Lintas Gelombang	11
Gambar 2.3 Lintasan Gelombang Pantul	13
Gambar 2.4 Penjumlahan Vektor Kuat Medan	14
Gambar 2.5 Hubungan Antar Path Attenuation dengan Path Clearance	16
Gambar 2.6 Mekanisme dari Fading Lintasan Jamak	19
Gambar 2.7 Mekanisme dari Power atau Attenuation Fading	21
Gambar 2.8 Mekanisme Fading dari Ground Base Duct	23
Gambar 2.9 Redaman Atmosfer Karena Oksigen dan Uap Air	25
Gambar 2.10 Daerah Hujan Untuk Asia dan Oceania	31
Gambar 2.11 Redaman Hujan dengan Distribusi Ukuran Butir Hujan	32
Gambar 2.12 Nomogram untuk Menentukan Faktor Perbaikan oleh Diversitas Ruang	42
Gambar 2.13 Koefisien Redaman Kc untuk Kabut dan Awan	36
Gambar 2.14 Sistem Diversitas Frekuensi	38
Gambar 2.15 Perbaikan karena Diversitas Frekuensi	40
Gambar 2.16 Sistem Diversitas Ruang	42
Gambar 2.17 Nomogram Untuk Menentukan Faktor Perbaikan oleh Diversitas Ruang	43

Gambar 2.18 Penggambaran Profil Lintasan dengan $K = 4/3$	45
Gambar 3.1 Peta Kontur Bumi	60
Gambar 3.2 Geometri Tinggi Antena	60
Gambar 3.3 Grafik BER Terhadap Eb/No untuk Beberapa Sistem Modulasi	62
Gambar 4.1 Garfik Komulatif Curah Hujan Tahunan	70
Gambar 4.2 Kurva Distribusi Kumulatif dari Intensitas Hujan	71
Gambar 4.3 Distribusi Kumulasi Redaman Hujan Polarisasi Vertikal	75
Gambar 4.4 Distribusi Kumulasi Redaman Hujan Polarisasi Horisontal	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Regresi Redaman Hujan	29
Tabel 2.2 Curah Hujan untuk Bebera Daerah dan Prosentase Waktu Tertentu	30
Tabel 3.1 Penempatan Frekuensi untuk Radio Digital	59
Tabel 4.1 Data Curah Hujan Tahunan Daerah Bandung	70
Tabel 4.2 Curah Hujan dengan Prosentase Waktu	71
Tabel 4.3 Curah Terburuk	72
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Redaman Hujan	75
Tabel 4.5 Data Klimatologi daerah Bandung	77
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Redaman Atmosfer	77
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Link Turangga - Barat	89
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Link Sentrum - Gegerkalong	90
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Link Timur - Barat	90
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Link Timur - Gegerkalong	91
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Link Turangga - Gegerkalong	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan semakin berkembangnya kegiatan masyarakat khususnya dalam bidang ekonomi, semakin meningkat pula kebutuhan akan fasilitas telekomunikasi. Dimasa mendatang masyarakat tidak lagi hanya puas dengan sistem komunikasi yang konvensional seperti telepon, telex, dan telagraf saja, melainkan menuntut sistem komunikasi yang lebih beragam dan kompleks seiring dengan tingkat kebutuhan masa itu.

Tuntutan kebutuhan yang beragam dan canggih tersebut muncul sebagai akibat proses modernisasi serta peningkatan taraf hidup. Agar tuntutan tersebut dapat dipenuhi, maka perlu tersedia sarana telekomunikasi yang berteknologi tinggi. Pada akhirnya pengelola telekomunikasi berkewajiban untuk memenuhi tuntutan kebutuhan tersebut dengan pelayanan dan teknologi yang sesuai.

Evolusi perkembangan teknologi telekomunikasi dapat dipastikan akan menuju bentuk ISDN (Integrated Service Digital Network) dimana segala jenis pelayanan telekomunikasi akan diberikan secara terpadu, dalam artian bahwa dalam satu switching akan disalurkan ke berbagai bentuk sinyal (suara, video, data). Teknologi yang mampu menyalurkan beragam sinyal tersebut hanyalah teknologi digital.

Beberapa faktor penunjang untuk pengembangan kearah itu adalah, pertama, karena adanya tuntutan untuk mendapatkan sistem yang ekonomis dan efisien, dan yang kedua, adanya perkembangan yang pesat dibidang perangkat keras pada sistem telekomunikasi tersebut.

Selaras dengan perkembangan kebutuhan jasa telekomunikasi diatas, maka penyediaan sarana dan prasarana dibidang telekomunikasi harus lebih ditingkatkan lagi. Salah satu sarana yang berfungsi untuk menghubungkan antara 2 titik yang dipisahkan oleh jarak adalah sistem komunikasi radio gelombang mikro digital.

Keuntungan dari hubungan radio dibandingkan dengan komunikasi melalui kabel adalah kemudahan dari sisi penerima dan pengirim untuk dipindah-pindahkan sesuai dengan kebutuhan serta kemudahan dalam pembangunannya. Sistem ini banyak digunakan pada jaringan dengan kondisi di daerah yang sulit (daerah pegunungan, komunikasi pribadi dan militer). Salah satu bentuk komunikasi radio adalah sistem komunikasi mikro hubungan bebas pandang (Line Of Sight). Faktor utama yang diperlukan pada sistem ini adalah penerima, menara, antena dan penerima.

Media transmisi radio yang dipergunakan di Indonesia pada saat ini lebih banyak menggunakan frekuensi dibawah 10 Ghz. Pada saat ini frekuensi tersebut telah banyak digunakan dalam komunikasi satelit, baik domestik maupun internasional. Karena itu penggunaannya untuk frekuensi teresterial harus dihindari. Hal ini mendorong untuk pemanfaatan frekuensi diatas 10 Ghz guna memenuhi permintaan yang terus meningkat. Sehubungan dengan

perencanaan hubungan radio digital, maka dalam tugas akhir ini akan dibahas sistem komunikasi radio gelombang mikro dengan menggunakan frekuensi 11,2 Ghz serta perhitungan redaman hujan dan atmosfer bagi propagasi gelombang ini.

1.2. Perumusan Masalah

Dalam sistem komunikasi radio gelombang mikro, khususnya untuk frekuensi KU-Band, faktor redaman hujan dan absorpsi atmosfer sangatlah berpengaruh bagi propagasi gelombang ini. Mengingat letak geografis Indonesia terletak pada daerah yang beriklim tropis dengan curah hujan tahunan yang relatif tinggi, maka dalam merencanakan pembangunan sistem komunikasi radio untuk frekuensi KU-Band harus memperhitungkan redaman hujan dan atmosfer agar sistem memenuhi standar kualitas yang ada.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada tugas akhir ini diarahkan pada hubungan teresterial titik ke titik pada gelombang radio dengan menggunakan frekuensi 11.2 Ghz serta penentuan besarnya pengaruh curah hujan dan redaman atmosfer pada frekuensi ini. Mekanisme perambatan gelombang yang terjadi adalah hubungan LOS (Line Of Sight). Pembahasan ditekankan pada aspek transmisi, yaitu pemilihan rute jaringan, perhitungan redaman hujan dan atmosfer, perhitungan redaman lintasan, penentuan cadangan fading, penggunaan diversitas dan perhitungan unjuk kerja (performance) sistem.

1.4 Metode Pemecahan Masalah

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini berdasarkan studi dan analisis data lapangan serta studi kepustakaan. Perolehan data diambil dari Badan Meteorologi dan Geofisika, Direktorat Vulkanologi dan Geologi, dan PT Telekomunikasi Indonesia.

1.5 Sistematika Pembahasan Masalah

Tugas akhir ini terdiri atas 6 bab disertai dengan lampiran-lampiran. Secara garis besarnya, masing-masing bab akan membahas hal-hal sebagai berikut :

- Bab I : Merupakan bab pendahuluan yang akan menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, metode pemecahan masalah, serta sistematika pembahasan.
- Bab II : Menguraikan propagasi gelombang radio, yang meliputi redaman ruang bebas, pengaruh atmosfer dan sifat medan dalam propagasi, fading dan diversitas, redaman curah hujan, redaman atmosfer, redaman awan dan kabut serta profil lintasan.
- Bab III : Memberikan ulasan tentang perencanaan link radio digital yang meliputi perolehan sistem, penguatan antena, Noise Figure, cadangan fading, metode perhitungan tinggi antena dan lain-lain.
- Bab IV : Menguraikan tentang perancangan sistem komunikasi gelombang mikro digital antar beberapa sentral MEA Bandung, yang meliputi

perhitungan tinggi antena, penentuan redaman hujan, penentuan redaman atmosfer, penentuan redaman awan dan kabut serta perhitungan unjuk kerja sistem.

Bab V : Membahas tentang analisa dari hasil perhitungan link radio

Bab VI : Bagian penutup, berupa kesimpulan dan saran-saran dari masalah utama yang disajikan di dalam tugas akhir ini.

Bab II

PROPAGASI GELOMBANG RADIO

Gelombang radio merupakan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan lewat atmosfer bumi atau ruang bebas yang dapat digunakan untuk membawa informasi melalui jarak yang jauh tanpa menggunakan kawat. Mekanisme perambatan gelombang radio ada bermacam-macam, antara lain meliputi gelombang permukaan bumi, gelombang langit, gelombang ruang, dan gelombang scattering (hamburan).

Sistem radio gelombang mikro yang bekerja pada frekuensi diatas 1 GHz merambat terutama dalam ragam garis pandang (Line Of Sight) baik ia berada diatas tanah maupun pada sistem satelit. Selain bebas pandang, gelombang tersebut harus memenuhi daerah Fresnel, yaitu bebas dari rintangan baik berupa gunung-gunung, bukit-bukit, bangunan-bangunan dan sebagainya.

Daerah frekuensi yang paling banyak digunakan pada hubungan radio gelombang mikro adalah antara 1 sampai 10 GHz, karena pada band ini mempunyai noise yang minimum serta pengaruh redaman yang diakibatkan oleh hujan dan penyerapan atmosfer pada band ini dapat diabaikan (karena redaman kurang dari 1 db/Km).

Keterbatasan frekuensi pada band 1 - 10 GHz mendorong digunakannya frekuensi yang lebih besar. Namun untuk frekuensi diatas 10 GHz, pengaruh redaman hujan dan penyerapan atmosfer tidak dapat diabaikan lagi.

Untuk menjaga agar unjuk kerja sistem tetap baik, maka dipergunakan teknik khusus dengan menggunakan sistem diversitas. Sistem diversitas yang digunakan adalah sistem diversitas ruang (space diversity) dan diversitas frekuensi (frekuensi diversity).

Unjuk kerja dari lintasan bebas pandang dipengaruhi oleh bermacam-macam fenomena. Pada bagian ini akan dibahas tentang redaman ruang bebas, pengaruh atmosfer dan sifat medan pada propagasi, fading, masalah-masalah propagasi untuk sistem diatas 10 GHz, sistem diversitass serta profil lintasan bumi.

2.1. Redaman Ruang Bebas

Redaman ruang bebas merupakan rugi-rugi antara antenna penerima dan pengirim yang dipisahkan oleh jarak (d) dengan anggapan bahwa medium transmisi adalah vakum dan kedua antenna yang digunakan adalah antenna isotropis. Apabila perbandingan daya di penerima dengan daya di pengirim dinyatakan dalam desibel, maka redaman ruang bebas dapat ditulis sebagai berikut :

$$FSL = 92.5 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2.1)^1$$

Dimana : FSL = redaman ruang bebas dalam dB
 d = jarak lintasan dalam kilometer
 f = frekuensi dalam GHz

¹ Townsed, A.A.R., Digital Transmission Line-Of-Sight A Hand Book, Printice Hall International ltd, New York, 1988, p.545

2.2 Pengaruh Atmosfer dan Sifat Medan pada Propagasi

Apabila gelombang radio merambat dalam ruang bebas, dimana ruang tersebut mempunyai index bias yang sama, maka gelombang tersebut akan merambat sebagai garis lurus. Akan tetapi apabila gelombang radio merambat melalui atmosfer bumi yang merupakan pertemuan beberapa gas yang memiliki index bias yang berbeda maka akan menyebabkan gelombang tersebut dibelokkan. Gas-gas di dalam atmosfer akan menyerap dan menghamburkan energi gelombang radio, dimana besar penyerapan dan penghamburan merupakan fungsi dari ketinggian di atas permukaan laut.

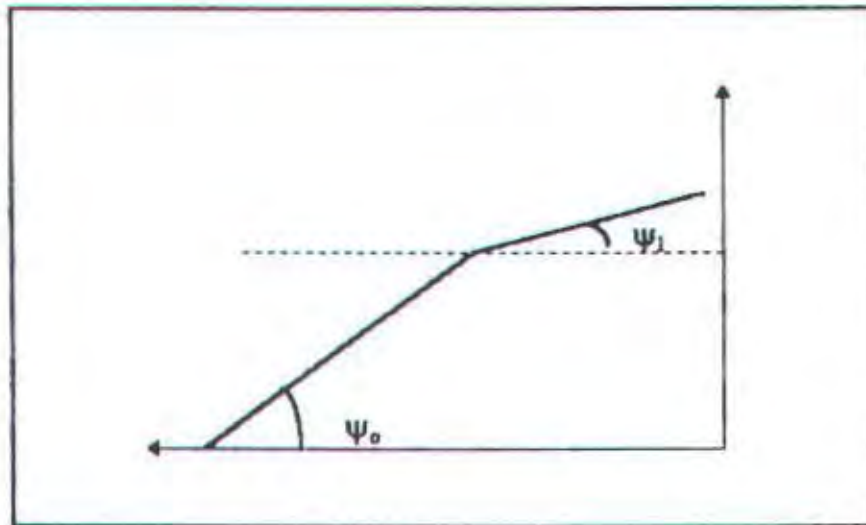
2.2.1. Pembiasan (refractivity)

Di dalam ruang yang mempunyai index bias yang konstan, gelombang radio akan berjalan dalam garis yang lurus. Ketika terjadi perubahan index bias, maka gelombang akan dibelokkan. Di dalam atmosfer dimana terdiri atas bermacam-macam gas yang memiliki kandungan uap yang berbeda-beda, gelombang akan dengan mudah dibiaskan.

Untuk menjelaskan propagasi di dalam medium yang berbeda-beda digunakan hukum Snellius tentang pembiasan. Jika ϕ merupakan sudut yang dibuat antara berkas sinar propagasi dengan garis horinsontal dan n merupakan index bias medium, maka dapat dirumuskan :

$$n_1 \sin \psi_1 = n_0 \sin \psi_0 \quad 2.2)^2$$

² Robert Grover, Lines, Waves And Antennas the Transmission of Electric Energy, John Willey and Sons, Second Edition, p.394



Gambar 2.1 Mekanisme Pembiasan

Dalam lapisan atmosfer, index bias akan berubah secara linear terhadap ketinggian karena merupakan fungsi dari suhu, tekanan udara dan kandungan uap air. Index bias radio n didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan propagasi gelombang radio di dalam ruang hampa dengan kecepatannya didalam suatu medium tertentu.

Pada kondisi atmosfer standar dekat permukaan bumi, index bias radio (n) mempunyai harga pendekatan 1,0003. Dalam hubungan sistem radio, lebih sering dipakai unit refraktivty (N), yang mempunyai hubungan dengan index bias sebagai berikut :

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (2.3)^4$$

³ Ibid, p. 393

⁴ Freeman, Roger L, Radio System Design For Telecommunications (1-100 GHz), John Willey and Sons, 1987, p. 6

Untuk atmosfer bumi :

$$N = (77.6 / T) \left[P + \frac{4810 \text{ es (RH)}}{T} \right] \quad (2.4)^5$$

dimana : P = tekanan atmosfer dalam mb

T = suhu dalam derajat Kelvin

es = tekanan saturasi uap air dalam mb

RH = kelembaban relatif (%)

Pada kondisi atmosfer standar, refraktivity berkisar anatar 300 ± 20 satuan.

2.2.2 Gradien Index bias

Gelombang radio yang melewati medium atmosfer akan mengalami penurunan index bias dengan kenaikan permukaan bumi. Jika bumi dianggap berputar dengan jari-jari Ka , dimana Ka adalah jari-jari bumi normal, maka lintasan propagasi gelombang radionya berupa garis lurus. Koefisien persamaan jari-jari bumi disebut K faktor, yang besarnya adalah : ⁶

$$K = \left[1 + \frac{r_0 \Delta n}{\Delta h} \right]^{-1} \quad (2.5)$$

Dari persamaan 2.3 didapat bahwa :

$$\frac{\Delta n}{\Delta h} = \frac{\Delta N}{\Delta h} (10^{-6}) \quad (2.6)$$

⁵ Ibid

⁶ Ibid

sehingga :

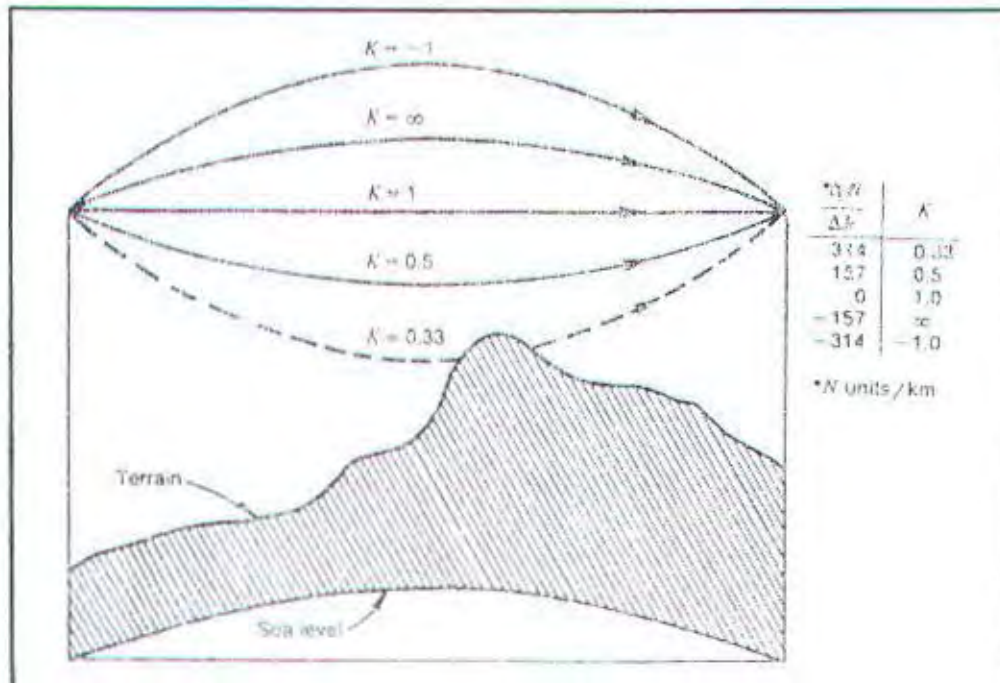
$$K = \left[1 + \left(\frac{\Delta n}{\Delta h} \right) / 157 \right]^{-1} \quad (2.7)$$

Dimana

r_o = Jari-jari bumi normal

h = Ketinggian suatu tempat diatas permukaan air laut (m)

$\frac{\Delta N}{\Delta h}$ = Gradien index bias



Gambar 2.2 Lengkung Lintas Gelombang

7

Pembelokkan dari gelombang radio yang merambat melalui atmosfer dipengaruhi oleh gradien index bias. Gradien index bias ini terdiri atas index bias horisontal dan gradien index bias vertikal, namun pada umumnya index bias horisontal sangat kecil sehingga dapat diabaikan.

⁷ Ibid, p.5

Gradien index bias vertikal merupakan fungsi dari cuaca, musim, dan perubahan kondisi udara, atau juga disebabkan oleh permukaan bumi (terrain) serta tumbuh-tumbuhan. Harga dari gradien vertikal dapat berubah antara +500 sampai dengan -1000 satuan/Km untuk ketinggian sampai beberapa ratus kaki. Pada kondisi atmosfer standard dengan ketinggian 500 sampai 1000 m di atas tanah, harga gradien index bias adalah 40 N satuan/Km. Bila harga ini dimasukkan dalam persamaan 2.7, maka akan diperoleh harga faktor $K \approx 4/3$.

2.2.3 Pantulan

Pada perambatan gelombang radio biasanya pada titik penerima terdiri atas sinyal-sinyal dari beberapa jalur yang berbeda. Sinyal-sinyal datang yang tidak langsung disebabkan karena pantulan dari tanah, air, obyek terdekat atau lapisan atmosfer yang tetap.

Pada titik pantul, gelombang tak langsung mengalami redaman dan pergeseran fasa, yang dinyatakan dalam koefisien pantul sebagai berikut

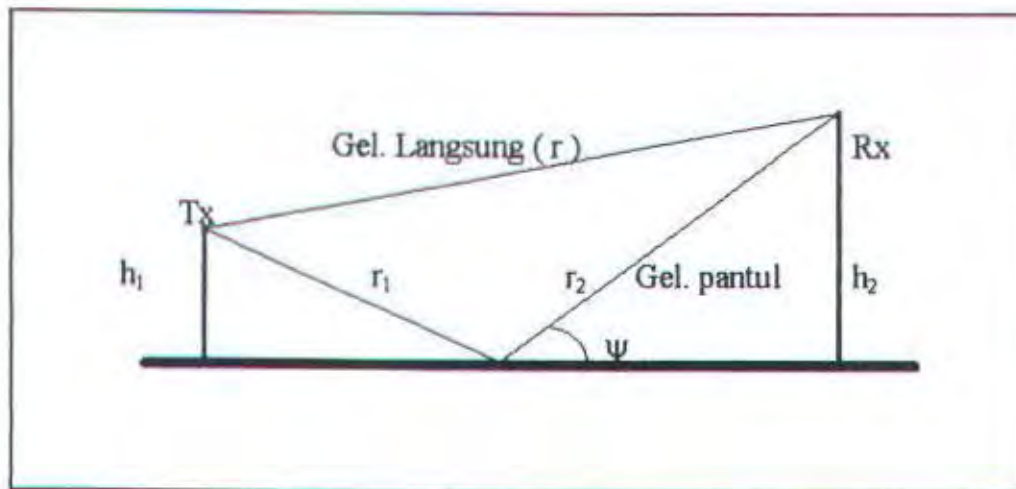
$$R = \rho e^{j\phi} \quad (2.8)^8$$

Besar ρ menyatakan perubahan amplitudo dan ϕ menyatakan perubahan fasa pada bidang pantul.

Perhitungan beda jarak tempuh antara gelombang langsung dengan gelombang pantul dilakukan dengan asumsi permukaan bumi datar. Gambar 2.3 memperlihatkan lintasan gelombang radio pada bumi datar dengan pengirim Tx

⁸ David R. Smith, Digital Transmission System, Van Nostrand Reinhold Company, New York, p.364

pada ketinggian h_1 dan penerima Rx pada ketinggian h_2 dan keduanya dipisahkan oleh jarak D . r merupakan lintasan gelombang langsung antara pengirim dan penerima, r_2 merupakan lintasan gelombang pantul dan ψ adalah sudut pantul.



Gambar 2.3 Lintasan Gelombang Pantul ⁹

Dari gambar tersebut terlihat bahwa lintasan pantul (r_2+r_1) lebih panjang dari lintasan r . Dengan demikian sinyal di penerima yang melewati lintasan r_2 akan tertinggal dari sinyal yang melewati r . dari gambar 2.3 diperoleh : ¹⁰

$$r = D^2 + (h_1 - h_2)^2 \quad (2.9)$$

$$r_2 = D^2 + (h_1 + h_2)^2 \quad (2.10)$$

Perbedaan lintasan (δ) antara lintasan pantul dan lintasan langsung adalah: ¹¹

$$\delta = (r_1 + r_2) - r \quad (2.11)$$

⁹ Ibid, p.365

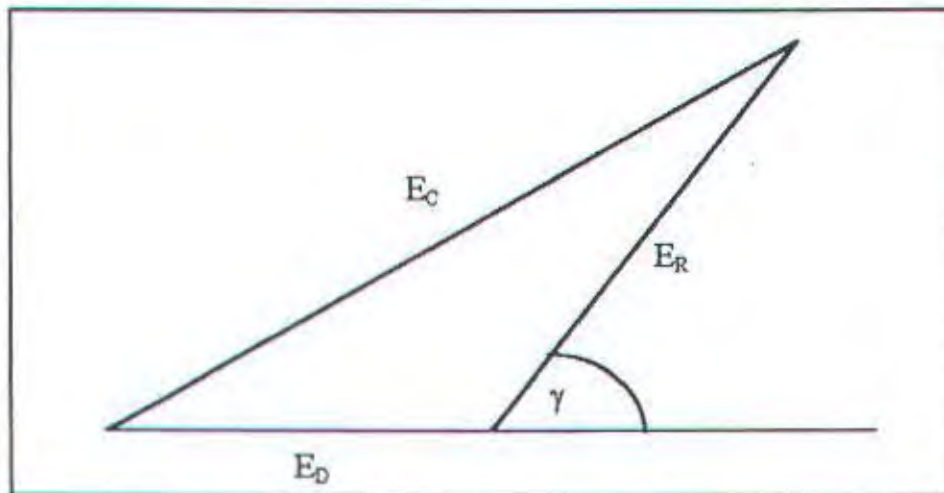
¹⁰ Ibid, p.366

¹¹ Ibid

$$\delta \approx 4h_1h_2/D \quad (2.12)$$

Perubahan fase total yang dialami gelombang pantul relatif terhadap gelombang langsung merupakan penjumlahan beda fase karena perbedaan panjang lintasan (δ) dan pergeseran fase karena pemantulan. Jumlah pergeseran fase menjadi :

$$\gamma = \frac{2\pi\delta}{\lambda} + \psi \quad (2.13)$$



Gambar 2.4 Penjumlahan Vektor Kuat Medan

Apabila komponen medan gelombang langsung dan tak langsung (pantul) dijumlahkan maka akan diperoleh kuat medan total pada antena penerima yang dapat dihitung berdasarkan gambar 2.4 : ¹²

$$E_C = E_D^2 + E_D^2 + 2E_DE_R \cos \gamma \quad (2.14)$$

$$= E_D \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho \cos \gamma} \quad (2.15)$$

¹² Ibid

Dimana :

E_D = Kuat medan langsung

E_P = Kuat medan pantulan

E_T = Kuat medan total

ρ = Besar koefisien pantul = E_P / E_D

γ = Beda fase antara gelombang langsung dan gelombang pantul

2.2.4 Fresnel Zone

Daerah Fresnel adalah bidang dalam arah frontal pada arah propagasi dimana derajat kebebasan lintasan (path clearance) dapat diketahui dengan perhitungan fresnel zone.

Secara empiris jari-jari fresnel zone dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_n = 17.3 \sqrt{\frac{n}{f} \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)} \quad (2.16)^{13}$$

Dengan :

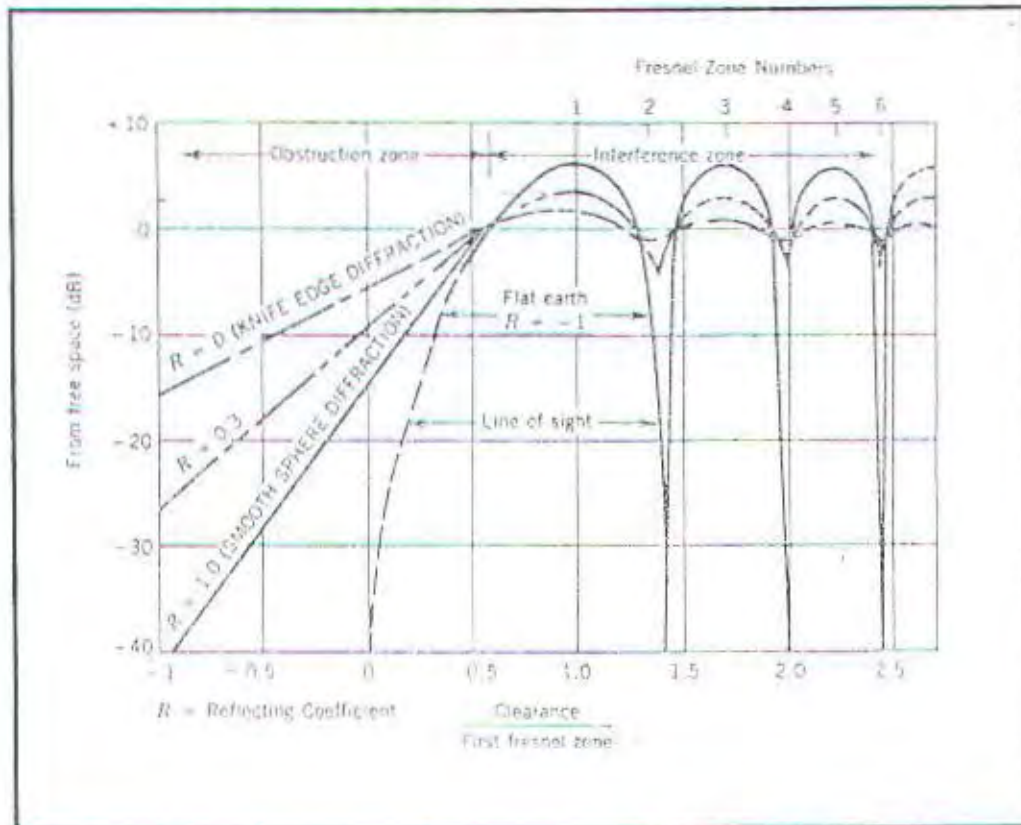
d_1 = Jarak dari pemancar ke titik tertentu disepanjang lintasan (Km)

d_2 = Jarak dari penerima ke titik yang sama disepanjang lintasan (Km)

¹³ Freeman, Roger L., Radio Sytem Design For Telecommunication (1-100 GHz), opcit p.14

f = frekuensi (GHz)

R_n = Jari-jari Fresnel (m)



Gambar 2.5 Hubungan antara path attenuation dengan path clearence

14

Pada gambar 2.5 ditunjukkan hubungan besar redaman lintasan (path attenuation) dengan derajat kebebasan (path clearance). Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa pengaruh obyek-obyek yang menyebabkan redaman (obstruction loss) dapat diabaikan dengan merencanakan minimal jarak obyek tersebut 0,6 dari jari-jari fresnel zone.

¹⁴ Ibid, p. 14

2.3. Fading

Fading didefinisikan sebagai perubahan level sinyal yang diterima, dimana perubahan ini disebabkan oleh adanya perubahan faktor kondisi daerah sepanjang lintasan yang dilalui. Dasar umum dari pendefinisian fading adalah bentuk mekanisme perambatan gelombang termasuk pembiasan, pemantulan, penghamburan, redaman dan ducting dari gelombang radio.

Penyebab adanya fading terutama karena kondisi permukaan geometri dan meteorologi bumi yang tidak teratur. Penyebab meteorologi yang sering terjadi adalah peralihan suhu, biasanya terjadi pada musim panas, lembab, tanpa angin, khususnya pada sore, malam dan pagi hari. Karena kondisi ini sering muncul pada musim panas, maka fading yang dalam sering terjadi pada musim panas. Semua sistem transmisi radio pada daerah frekuensi 1- 100 GHz akan menderita fading termasuk sistem satelit bumi.

2.3.1. Fading Lintasan Jamak

Fading lintasan jamak (multipath fading) merupakan type fading yang paling banyak ditemukan, khususnya dalam lintasan radio bebas pandang. Fading lintasan jamak merupakan pengaruh dari atmosfer, meningkat secara lambat terhadap frekuensi dan akan berubah secara cepat terhadap pertambahan panjang. Probabilitas kedalaman fading mengikuti pendekatan rumus $f \cdot d^{3.5}$, dimana f adalah frekuensi pembawa dan d adalah jarak lintasan). Fading lintasan jamak terdiri atas dua bentuk yaitu :

- Atmosphere Multipath fading
- Reflektive Multipath fading

Atmosfer multipath fading disebabkan oleh penerimaan sinyal pada titik penerima yang terdiri atas beberapa sinyal datang dari pemancar dengan panjang lintasan yang berbeda-beda. Perbedaan panjang lintasan transmisi disebabkan karena adanya variasi waktu dan ruang dalam index bias atmosfer yang berbeda-beda. Didalam gradien index bias atmosfer yang berubah-ubah menyebabkan terjadinya interferensi antara gelombang langsung dan gelombang pantul. Pada lintasan bebas pandang, kedalaman fading (depth fading) dapat lebih dari 20 dB bahkan lebih dari 30 dB untuk lintasan troposcatter.

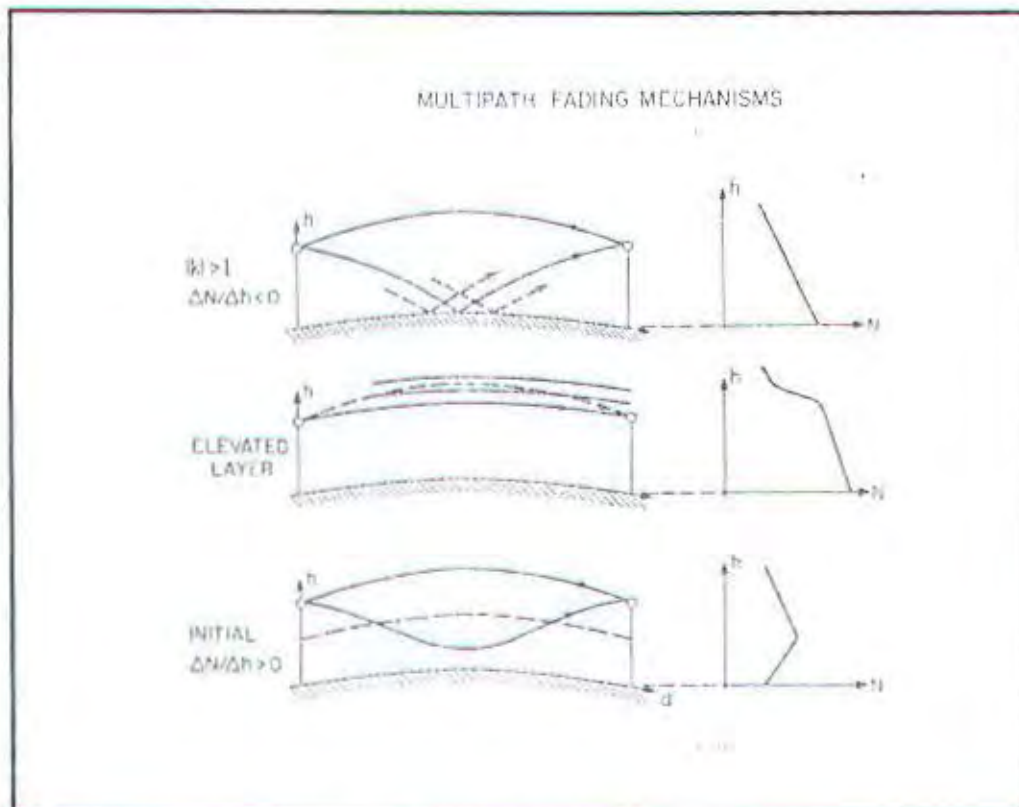
Atmosfer multipath fading akan menjadi lebih besar dan lebih sering terjadi apabila jarak dan frekuensi yang digunakan meningkat.

Bentuk kedua dari fading lintas jamak (multipath fading) adalah reflektive fading yang sering disebut juga Fresnel Zone fading. Fading ini disebabkan seperti juga pada atmosfer multipath, dimana pada penerima diterima beberapa sinyal dari beberapa jalur lintasan yang berbeda. Sinyal-sinyal pantul datang karena adanya pemantulan dari tanah, air, obyek-obyek terdekat, atau lapisan atmosfer yang stabil.

Tidak seperti pada atmosfer multipath, fading karena sinyal-sinyal pantulan ini berubah relatif lambat karena lintasan sekundernya relatif stabil. Jika fading merupakan gabungan antara sinyal utama dan satu sinyal pantul, maka gabungan sinyal akan minimum jika sinyal pantul dipantulkan dari

obstacle pada radius daerah fresnel yang genap dari lintasan sinyal utama. Sinyal gabungan akan maksimum jika radiusnya ganjil.

Pada umumnya reflective fading tidak menimbulkan masalah apabila lintasan transmisi melintas di atas permukaan bumi yang kasar atau lintasan yang panjang, karena pola pengirim dan penerima akan saling meniadakan pengaruh pantulan. Namun apabila lintasan transmisi di atas air atau laut maka fading tidak boleh diabaikan karena lintasan transmisi memiliki pantulan yang besar.



Gambar 2.6 Mekanisme dari Fading Lintasan Jamak

¹⁵ Ibid, p.19

2.3.2. Obstruction Fading

Gelombang radio secara normal akan berjalan sepanjang garis radial dari sumbernya kecuali ketika gelombang dideviasikan oleh pembiasan (difraksi). Ketika gelombang radio menembus suatu obyek halangan, sebagian besar dari energi gelombang akan disimpangkan pada tepi-tepi obyek dan akan terjadi pembelokkan sepanjang tepi halangan (obstacle). Penghamburan (diffraction) ini akan mengisi bagian dari daerah bayangan dengan energi yang besar dari gelombang. Salah satu obyek halangan yang besar adalah permukaan bumi yang melengkung. Obyek-obyek yang lain yang ikut berpengaruh bagi perambatan gelombang adalah bangunan, pohon, gunung, dan lain-lain.

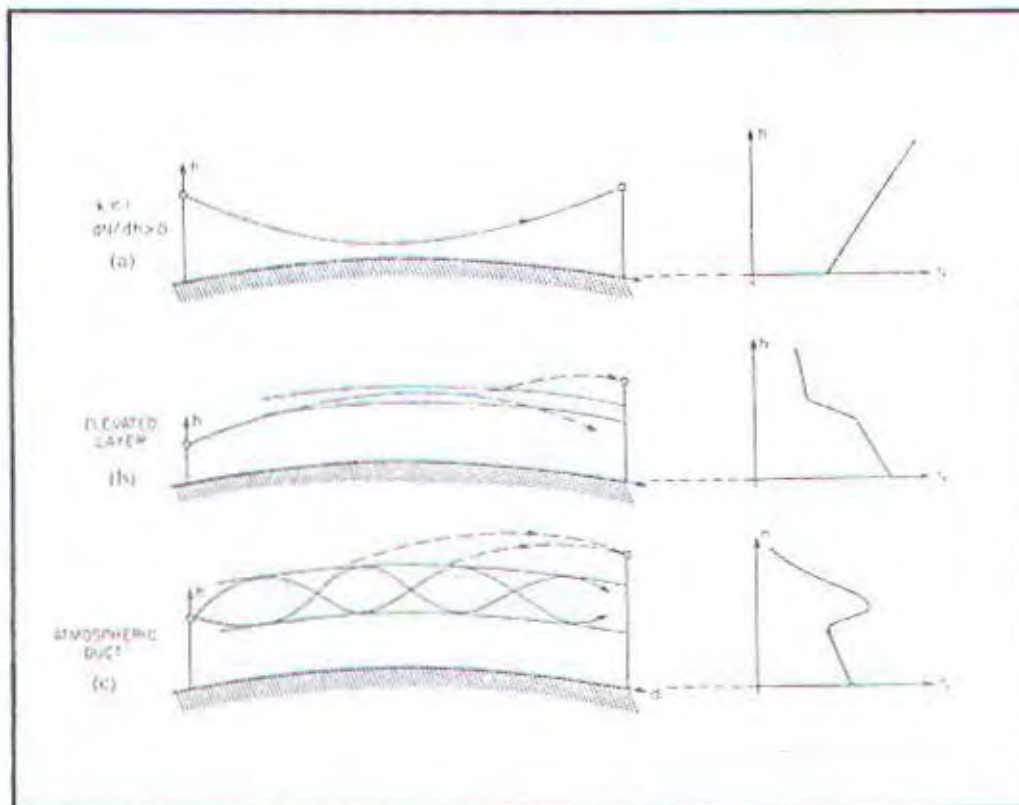
Bentuk umum dari rugi-rugi difraksi diatas disebut obstruction fading. Jika faktor K bernilai kurang dari satu, gelombang radio akan dibelokkan melengkung ke atas. Untuk kasus yang ekstrim, jalur pada titik terima sebagian atau seluruhnya akan di blok. Daya akan memudar yang disebabkan oleh penghamburan (diffraction) permukaan bumi. Jenis fading ini biasanya tidak dapat dikurangi dengan diversitas frekuensi, tetapi dapat dihindari dengan menyesuaikan tinggi antenna. Salah satu upaya untuk menghindari fading ini adalah dengan meletakkan antenna diatas bukit pada suatu daerah pegunungan.

2.3.3. Power Fading

Fading daya (Power fading) dikenal juga sebagai fading yang disebabkan karena penyimpangan arah propagasi, seperti kondisi subrefraksi ($0 < K < 1$) yang bisa menimbulkan bloking lintasan karena semakin besarnya jari-jari

efektif bumi. Pada kondisi super refraksi ($K > 2$) perubahan sinyal bisa terjadi akibat bervariasinya pembelokkan arah propagasi. Fading ini dapat diatasi dengan penempatan posisi antenna. Fading ini dapat juga timbul karena surface duct dimana harga K kurang dari 0 ($K < 0$). Untuk fading ini dapat diatasi dengan ketinggian antenna dimana daerah fresnel zone berada diatas lapisan ducting.

Selain pengaruh faktor K seperti diatas, power fading dapat juga ditimbulkan oleh air hujan, terutama untuk frekuensi diatas 10 GHz. Untuk mengatasi fading ini diperlukan Link Margin.



Gambar 2.7 Mekanisme dari Power atau Attenuasi Fading

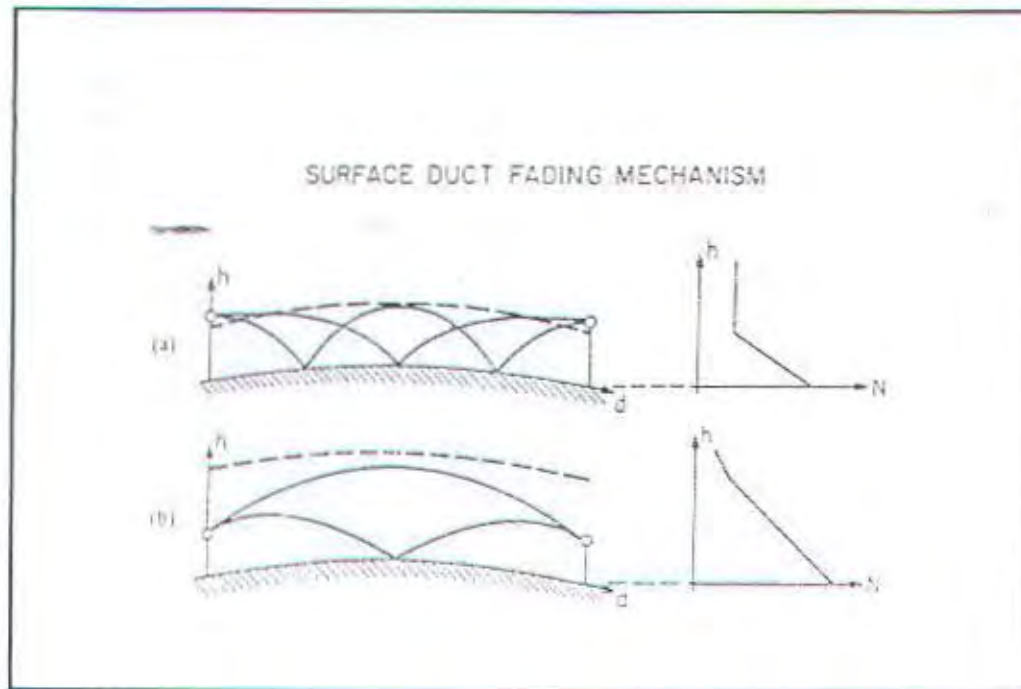
2.3.4. Duct Fading

Suatu waktu lapisan horisontal diudara yang memiliki sifat-sifat normal akan berubah sehingga index bias menurun secara cepat dengan kenaikan ketinggian, sehingga akan terjadi pembelokkan sinar horisontal secara kuat kebawah. Lengkungan dari sinar sering melebihi kelengkungan permukaan bumi. Lapisan yang dimiliki oleh sifat-sifat udara disebut duct. Duct fading dikategorikan dalam dua type :

- Surface Duct (permukaan)
- Elevated Duct (Ketinggian)

Surface duct fading biasanya terbentuk akibat penurunan secara cepat dari tekanan air terhadap ketinggian, atau peningkatan temperatur terhadap ketinggian, atau pengaruh keduanya secara bersama. Dua kasus yang menyebabkan hal tersebut di atas adalah penguapan air laut atau daerah perairan yang luas. Penguapan uap air dari permukaan laut dapat menyebabkan kelembaban yang lebih tinggi (index bias tinggi). Duct ini banyak terjadi pada siang hari akibat adanya pemanasan dari matahari.

Surface fading duct dapat dikurangi dengan pemilihan ketinggian antena untuk menyediakan daerah fresnel bebas yang cukup di atas lapisan ducting.



Gambar 2.8 Mekanisme Fading dari Ground Base Duct

17

2.4 Masalah Propagasi Untuk Sistem di Atas 10 GHz

Propagasi dari gelombang radio yang melewati atmosphere untuk frekuensi diatas 10 GHz tidak hanya dipengaruhi oleh faktor rugi-rugi ruang bebas, tetapi dipengaruhi juga oleh beberapa faktor lain yang penting, yaitu :

- Kontribusi gas-gas atmosfer yang homogen
- Kontribusi dari gas-gas atmosfer yang non homogen
- Kontribusi partikel-partikel yang disebabkan oleh hujan, kabut, debu asap, partikel-partikel garam di udara dan lain-lain.

¹⁷ Ibid, p.23

2.4.1 Redaman Atmosfer

Selama melewati atmosfer, gelombang radio dengan panjang gelombang dalam centimeter atau milimeter akan mengalami penyerapan-penyerapan molekul akibat pengaruh resonansi. Pengaruh resonansi ini terutama disebabkan oleh gas-gas O_2 dan uap air dalam atmosfer. Penyerapan oleh uap air [H_2O] akan mempunyai nilai maksimum pada frekuensi 22 dan 183 Ghz, sedangkan penyerapan oleh gas oksigen [O_2] akan mempunyai nilai maksimum pada frekuensi 60 Ghz dan 119 Ghz. Gas-gas lain seperti N_2O , SO_2 , O_3 , NO_2 , dan NH_3 dapat diabaikan pengaruhnya dalam propagasi, karena memiliki kerapatan yang rendah.

Karena pengaruh penyerapan gas-gas dan partikel di atas, maka kita dapat mengembangkan rumus redaman transmisi pada persamaan 2.1 menjadi :

$$L (db) = 92,5 + 20 \log d + 20 \log f + a + b + c + d + e \quad (2.17)^{18}$$

Dengan : f dalam Mhz, dan D dalam kilometer

a = Pengaruh redaman karena uap air

b = Pengaruh redaman karena kabut

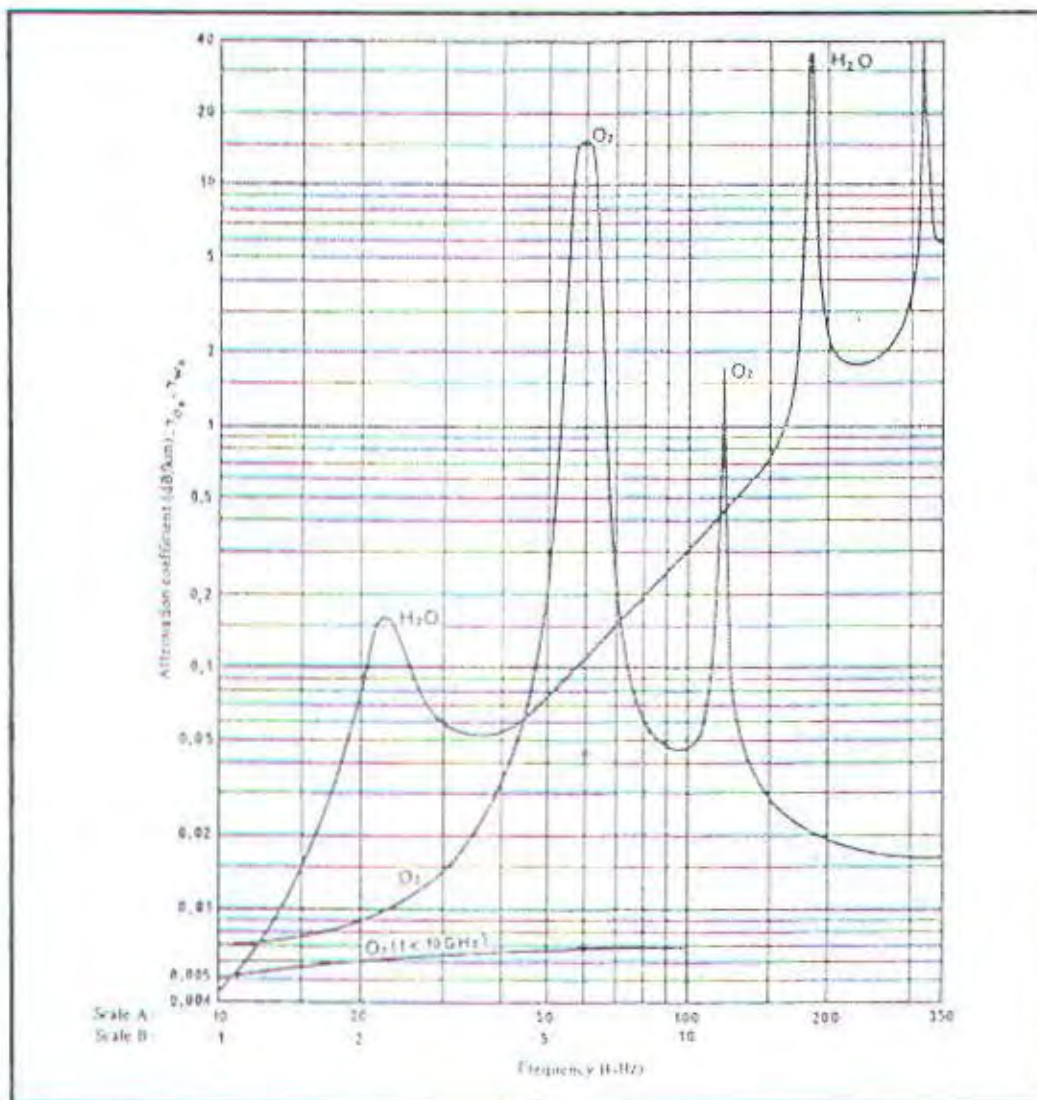
c = Pengaruh redaman karena oksigen

d = Pengaruh redaman karena gas-gas lain

e = Pengaruh redaman karena hujan

¹⁸ Ibid, p.348

Besar redaman karena uap air merupakan variasi dari suhu, kelembaban relatif, tekanan, atmosfer dan ketinggian. Redaman karena oksigen dan gas-gas lain diasumsikan sesuai dengan kepadatan atmosfer khususnya tekanan atmosfer yang merupakan fungsi dari ketinggian. Sedangkan redaman karena kabut dan hujan merupakan variasi dari kerapatan butir-butir air hujan atau mendung.



Gambar 2.9 Redaman Atmosfer Karena Oksigen dan Uap air

¹⁹ CCIR Report In Non Ionized Media, XVIth Plenary Assembly, Dun rovník, 1986, Report 719-3

Redaman pada butir b dan d pada persamaan 2.21 sering diabaikan, sedangkan bagian a dan c biasanya disatukan dan disebut "redaman atmosfer".

Sebagaimana yang terlihat pada gambar 2.9, bahwa untuk lebar band frekuensi antara 50 - 70 GHz, terjadi penyerapan gas oksigen maksimum dimana sangat dipengaruhi oleh tekanan dan ketinggian tempat.

Untuk udara kering, redaman oksigen pada tekanan udara 1013 mb dan suhu 15 °C diberikan oleh Gibbins sebagai berikut :

$$\gamma_o = (7,19 \cdot 10^{-3} + \frac{6,09}{f^2 + 0,277} + \frac{4,81}{(f - 57)^2 + 15}) f^2 \cdot 10^{-3} \text{ dB/Km} \quad (2.18)^{20}$$

Sedangkan untuk redaman yang disebabkan oleh uap air pada temperatur 15 °C dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\gamma_w = [0,050 + 0,0021p + \frac{3,6}{(f-22,2)^2 + 8,5} + \frac{10,6}{(f-183,3)^2 + 9,0} + \frac{8,9}{(f-325,4)^2 + 26,3}]$$

$$f^2 \cdot p \cdot 10^{-4} \text{ dB/Km} \quad (2.19)^{21}$$

Sehingga besarnya redaman atmosfer yang merupakan gabungan antara redaman oksigen dan uap air, adalah sebagai berikut :

²⁰ Ibid

²¹ Ibid

$$A_{ow} = (\gamma_o + \gamma_w) d \quad (2.20)^{22}$$

Dimana :

ρ = Kerapatan uap air (gr/m^3)

f = Frekuensi (GHz)

A_{ow} = Redaman total uap air dan oksigen (dB)

γ_o = Redaman spesifik oksigen (dB/Km)

γ_w = Redaman spesifik uap air (dB/Km)

d = Panjang lintasan (Km)

2.4.2 Rugi-rugi karena curah hujan (Rain fall Loss)

2.4.2.1 Dasar Pertimbangan Pengaruh Hujan

Dari faktor a sampai faktor e pada persamaan 2.21, diatas faktor e (pengaruh redaman karena curah hujan), merupakan rugi-rugi yang utama bagi lintasan transmisi.

Pengaruh redaman karena curah hujan merupakan fungsi dari kelembatan hujan (Precipitation Rate). Besar kecepatan hujan tergantung pada kandungan zat cair dan kecepatan jatuh butir-butir air. Kecepatan ini akan bergantung juga pada ukuran butir air hujan.

Pengukuran kecepatan curah hujan menggunakan rain gauges dengan keluaran yang mampu dibaca bagi analisa komputer. Rain gauges akan

²² Ibid

menyediakan analisa per menit dari kecepatan curah hujan. oleh karena itu diperlukan beberapa data statistik tahunan untuk lintasan khusus agar tersedia informasi yang dibutuhkan bagi fading yang disebabkan oleh curah hujan. Hal ini penting untuk menentukan parameter-parameter sistem, seperti jarak pengulang (repeater), ukuran antena dan diversitas.

2.4.2.2 Pengaruh Hujan bagi Lintasan LOS

Dalam merancang lintasan radio pada frekuensi KU-Band, permasalahan utama adalah penentuan pengaruh redaman lintasan karena curah hujan. Sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya, curah hujan yang besar akan mempunyai pengaruh yang serius bagi transmisi gelombang radio untuk frekuensi di atas 10 GHz. Untuk frekuensi dibawah 10 GHz, redaman hujan untuk tiap kilometernya kecil (kurang dari 1 dB/Km), sehingga dapat diabaikan sedangkan untuk frekuensi diatas 10 GHz besar redaman hujan yang didapat adalah tinggi. Oleh karena itu dalam perencanaan ini, faktor redaman hujan harus diperhitungkan.

Metode yang digunakan untuk menghitung pengaruh redaman lintasan yang disebabkan oleh hujan merupakan prosedur empirik berdasarkan CCIR report 721-2, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$A = aR^b \quad (2.21)^{23}$$

²³ ibid, Report 721-2

Dimana :

A = Faktor redaman hujan

R = Rain rate (mm/jam)

a,b = Koefisien yang merupakan fungsi dari frekuensi dan temperatur

Dengan mengambil temperatur hujan 20 °C, untuk distribusi ukuran Laws and Parsons, tabel 2.1 memberikan koefisien regresi untuk menentukan redaman pada persamaan 2.26.

Tabel 2.1 Koefisien Regresi Redaman Hujan

²⁴

Frekuensi (GHz)	a_h	a_v	b_h	b_v
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
2	0,000154	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,979	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929
45	0,4420	0,393	0,903	0,897

²⁴ Ibid

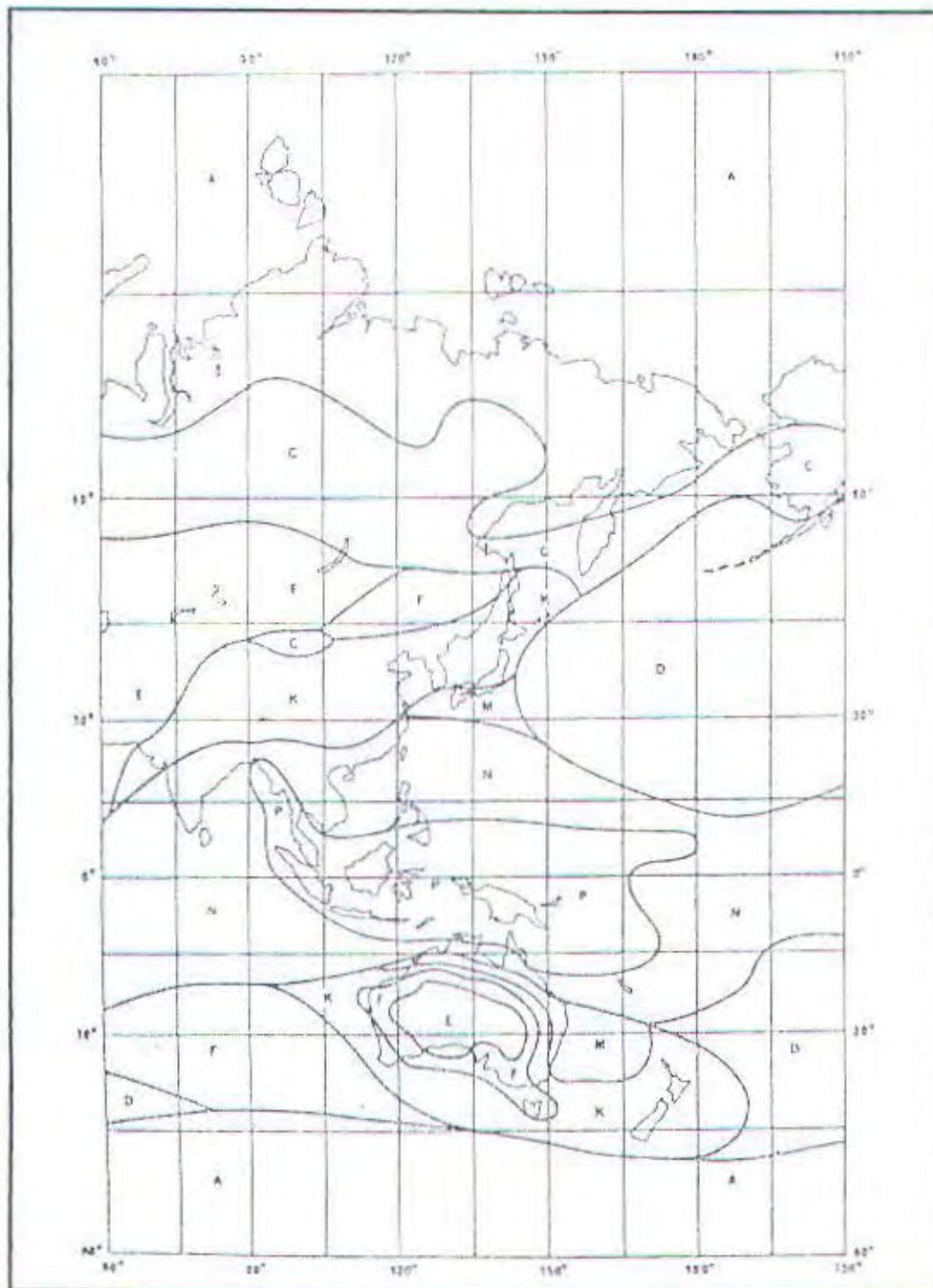
Gelombang yang mempunyai polarisasi horisontal akan mempunyai redaman yang lebih besar dibandingkan gelombang dengan polarisasi vertikal, karena ukuran butir hujan umumnya berbentuk seperti bola dan mempunyai rotasi sumbu vertikal. Pada tabel 2.1, notasi h dan v menunjukkan polarisasi horisontal dan polarisasi vertikal untuk beberapa nilai a dan b.

Penentuan kelembatan hujan (rain rate) diperoleh dari sumber data lokal. Untuk sistem radio digital memerlukan nilai dari intensitas hujan melampaui 0.01 % dari waktu dengan integrasi waktu 1 menit. Jika informasi tidak dapat diperoleh dari sumber data lokal, maka untuk menghitungnya dapat diambil dari pembagian daerah hujan dalam peta, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.9. Untuk memilih harga pendekatan dari intensitas kelembatan hujan sebagai persentase waktu, dapat dilihat dari tabel 2.2, yang memberikan 14 daerah dari peta.

Tabel 2.2 Curah Hujan untuk Beberapa Daerah dan Prosentase Waktu Tertentu ²⁵

Persentase dari waktu (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1.0	-	1	-	3	1	2	-	-	-	2		4	5	12
0.3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0.001	22	32	42	42	70	78	55	83	55	100	150	120	180	250

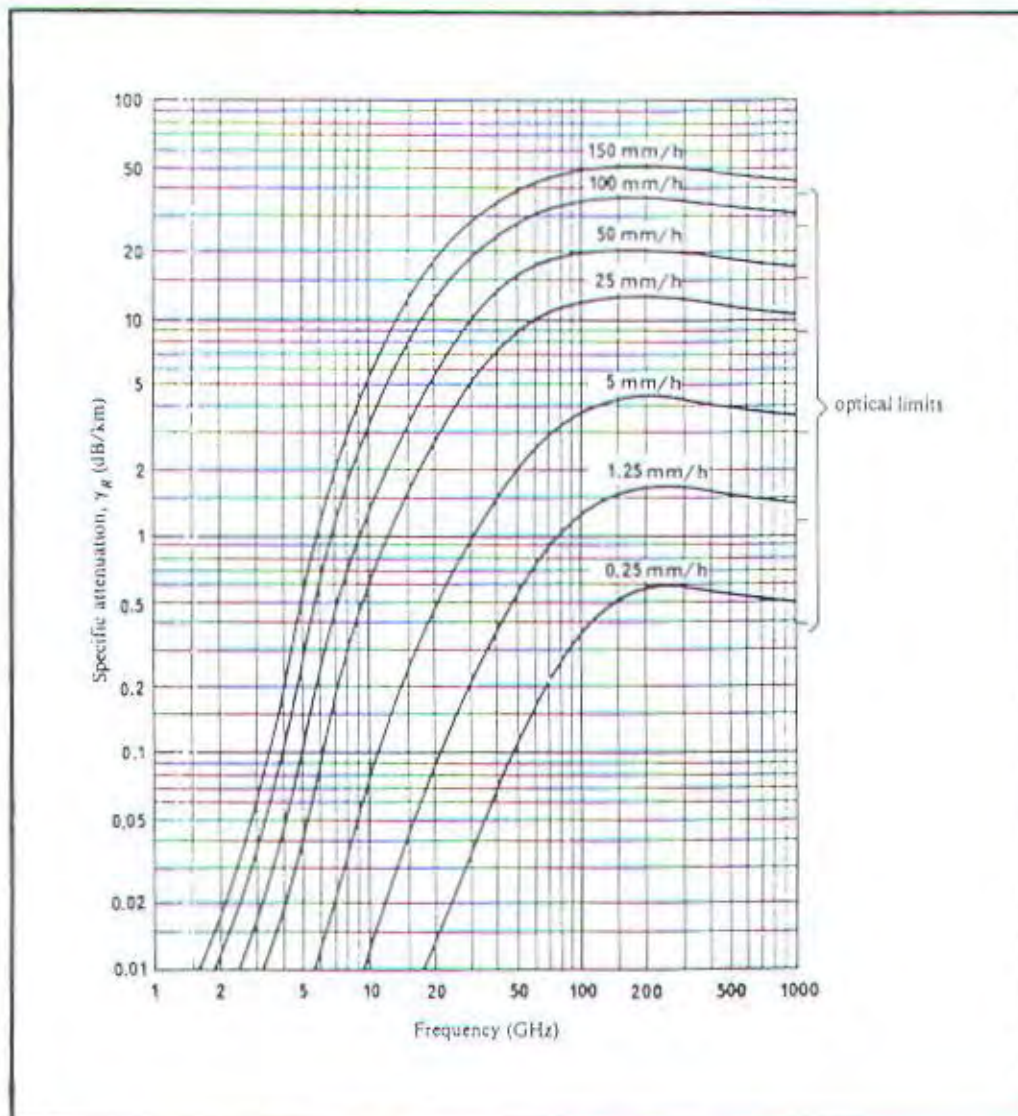
²⁵ Ibid, Report 563-2



Gambar 2.10 Daerah Hujan untuk Asia dan Oceania

26

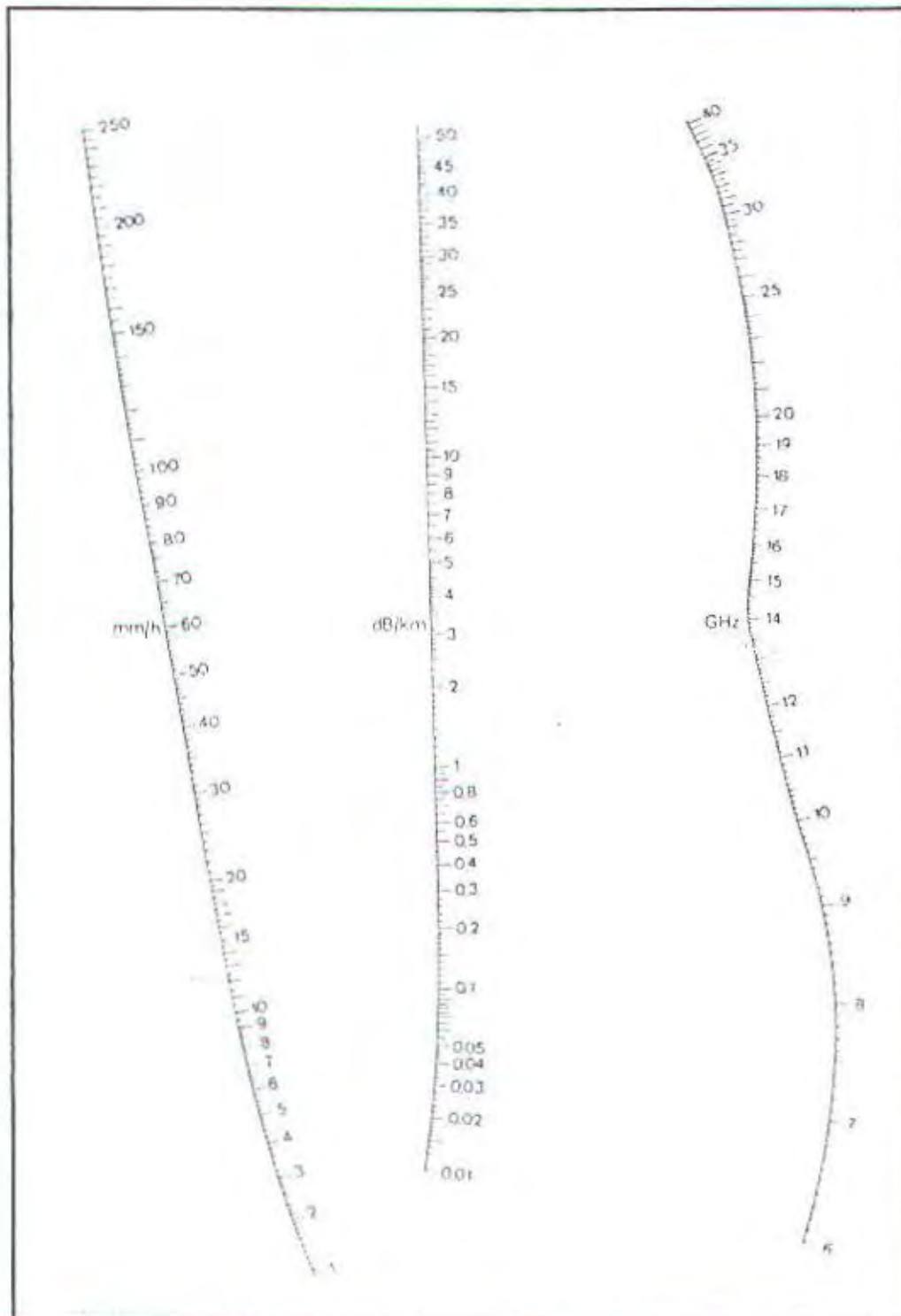
Metode lain untuk menentukan redaman hujan dengan menggunakan grafik atau monogram redaman hujan sebagai fungsi curah hujan per jam dan frekuensi dari hasil eksperimen seperti ditunjukkan oleh gambar 2.11 dan 2.12



Gambar 2.11 Redaman Hujan dengan Distribusi Ukuran Butir Hujan

27

²⁷ Freeman, Roger .L., Radio Sytem Design For Telecommunication (1-100 GHz), opcit p.410



Gambar 2.12 Nomogram Untuk menentukan Redaman Hujan

Untuk menentukan redaman hujan total sepanjang lintasan maka faktor redaman hujan (A) perlu dikalikan dengan panjang lintasan efektifnya. Lintasan efektif merupakan perkalian antara panjang lintasan sebenarnya dengan faktor reduksi r, dimana nilai r diberikan oleh rekomendasi CCIR Report 338-5 sebagai berikut :²⁹

$$r = \frac{90}{(90 + 4L)} \quad (2.22)$$

$$A_{\text{eff}} = A \times L \times r \quad (2.23)$$

Untuk menentukan redaman yang melebihi 0.01 % dari waktu yang ditentukan adalah :

$$A_{0,01} = a R_{0,01}^b \quad (2.24)^{30}$$

Untuk menentukan redaman hujan bagi prosentase waktu p yang lain, dapat mengikuti hukum daya dari Rekomendasi CCIR Report 338-5 sebagai berikut :

$$A_p = A_{0,01} \left[\frac{p}{0,01} \right]^a \quad (2.25)^{31}$$

Nilai koefisien a diberikan sebagai berikut :

²⁹ CCIR Report In Ionized Media, opcit Report 338-5

³⁰ Ibid

³¹ Ibid

$a = 0,33$ untuk $0,001 \leq p \leq 0,01$ %

$a = 0,41$ untuk $0,01 < p \leq 0,1$ %

Nilai probabilitas rata-rata tahunan p , yang melebihi dari level redaman yang diberikan dapat ditentukan dari nilai probabilitas bulan terburuk (p_w) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$p = 0.3 p_w^{1,15} \% \quad (2.6)^{32}$$

Prosedur penentuan redaman hujan diatas berdasarkan dari analisis hubungan curah hujan dengan pengukuran redaman dalam propagasi khususnya untuk daerah Eropa, Jepang dan Amerika Serikat.

2.4.3 Redaman Karena Awan dan Kabut

Kabut terjadi karena proses kondensasi uap air di atmosfer, kabut tipis akan mengandung air berkisar antara $0.02 - 0.06 \text{ gr/m}^3$ sedangkan kabut tebal berkisar antar $0.2 - 0.4 \text{ gr/m}^3$. Lapisan-lapisan kabut terutama terjadi pada ketinggian atmosfer diantara $50 - 100$ meter. Redaman ini tidak tergantung pada distribusi ukuran hujan tetapi merupakan fungsi dari kandungan zat cair ρ_1 dan dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$a_c = Kc\rho_1 \text{ (dB/Km)} \quad (2.27)^{33}$$

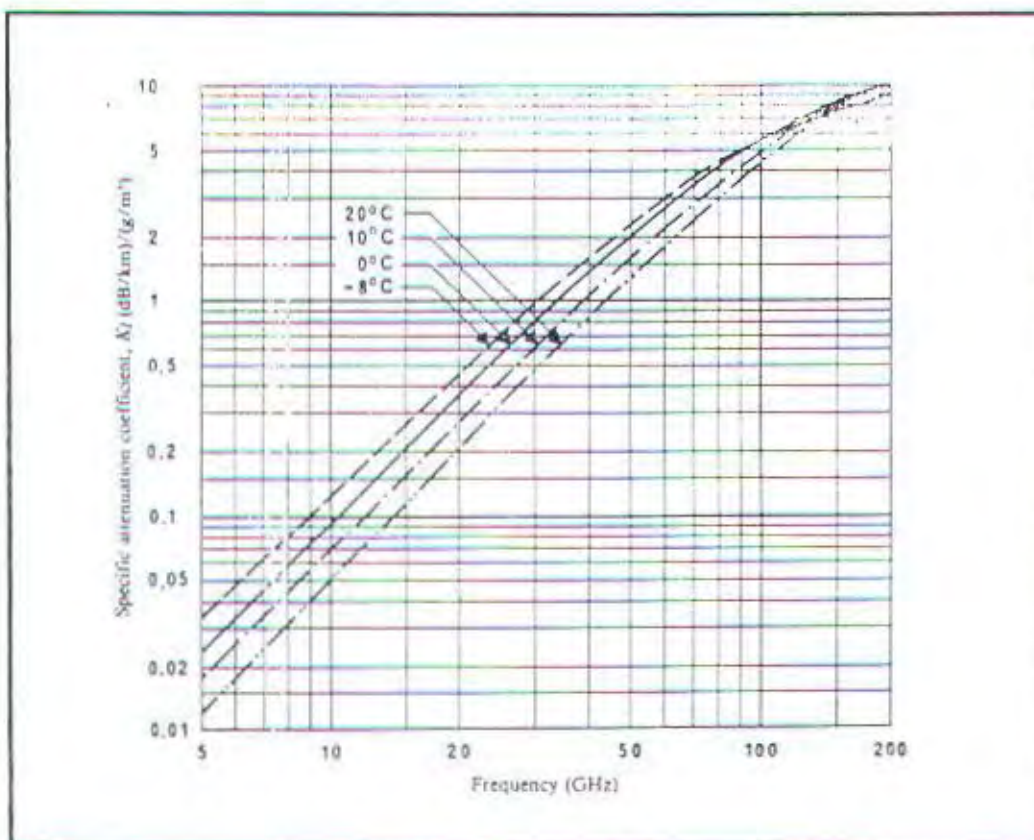
³² Ibid

Dengan :

p_l = dalam gr/m^3

K_c = Konstanta redaman yang merupakan fungsi dari frekuensi dan n temperatur

Gambar 2.13 merupakan kurva konstanta redaman awan dan kabut dengan asumsi titik air murni. Untuk air garam seperti kabut diatas lautan, nilai konstanta redaman ini memiliki nilai yang lebih besar sekitar 25 % untuk suhu 20°C dan 5 % untuk suhu 5°C .



Gambar 2.13 Koefisien Redaman K_c untuk Kabut dan Awan

34

³³ Ibid, Report 172-3

³⁴ Ibid

2.5. Diversitas

Untuk mengatasi gangguan akibat fading digunakan dua metode umum, yaitu menyediakan cadangan fading (fading margin) dan menggunakan sistem diversitas atau penerimaan ganda.

Langkah untuk mencapai cadangan fading yang dikehendaki adalah membangun lintasan dengan menggunakan aperture antena yang lebih besar, penyediaan alat dipenerima dengan derau yang kecil (misal dengan menggunakan Low Noise Amplifier) atau menyediakan daya keluaran pemancar yang lebih besar.

Sistem diversitas terdiri atas beberapa metode :

- Diversitas frekuensi
- Diversitas ruang
- Diversitas sudut atau diversitas time slot

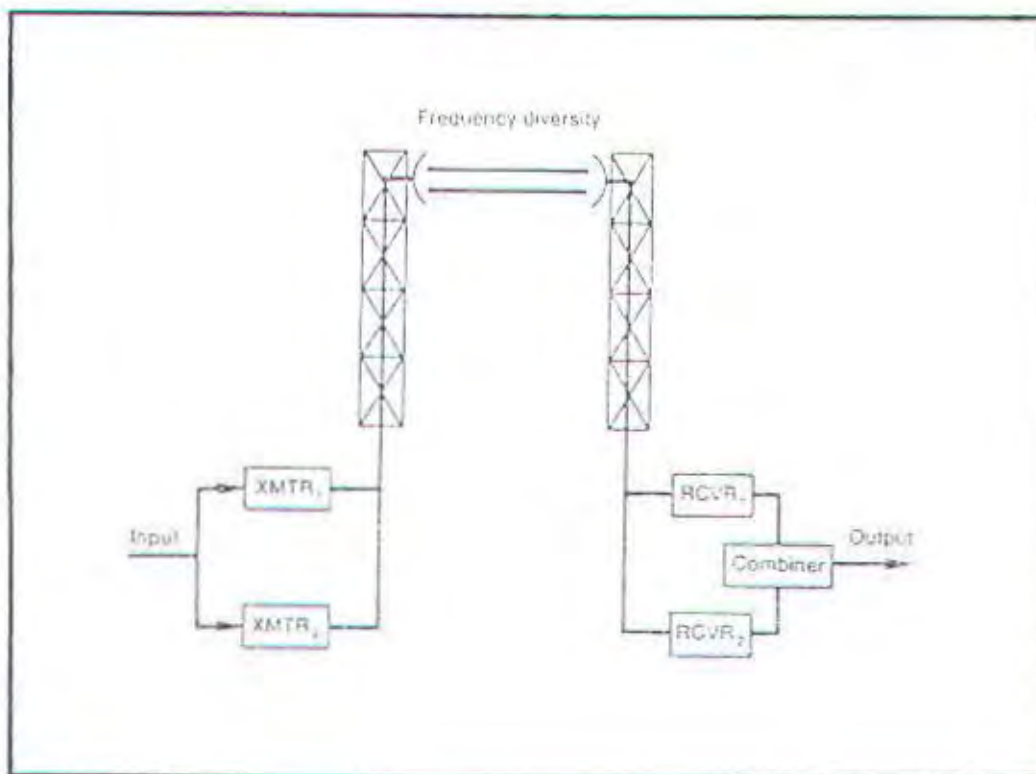
Pada saat ini metode yang sering digunakan adalah sistem diversitas frekuensi dan sistem diversitas ruang yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh fading dan untuk meningkatkan keandalan sistem. Gabungan antara kedua sistem ini akan menjadi lebih murah dalam penyediaannya dan mempunyai kemudahan dalam operasional dan pemeliharaan.

2.5.1 Sistem Diversitas Frekuensi

Diversitas frekuensi menggunakan dua buah pemancar dan dua buah penerima dengan frekuensi yang berbeda untuk mengirimkan dan menerima

informasi yang sama. Sistem ini memiliki dua keuntungan karena menyediakan gain diversitas dan juga lintasan gelombang yang penuh.

Agar tidak terjadi interferensi frekuensi maka dalam prakteknya dua buah frekuensi yang dikirim harus berbeda 3 - 5 %. Gambar 2.14 menunjukkan perbaikan sistem karena pemakaian diversitas frekuensi dengan beberapa perbedaan frekuensi yang dikirim. Dari gambar terlihat bahwa dengan sistem diversitas frekuensi dapat memperbaiki 14 - 19 dB untuk tingkat keandalan 99,99 % dengan asumsi fading memiliki distribusi Rayleigh.



Gambar 2.14 Sistem Diversitas Frekuensi

³⁵ Freeman, Roger .L., Radio Sytem Design For Telecommunication (1-100 GHz), opcit p.68

Faktor perbaikan karena diversitas frekuensi hasil modifikasi didefinisikan sebagai berikut :

$$I_{fd} = \left(\frac{0,8}{f d}\right) \left(\frac{\Delta f}{f}\right) \cdot 10^{F/10} \quad (2.28)^{36}$$

Dimana :

f = Frekuensi (GHz)

d = Panjang Lintasan (Km)

Δf = Pemisahan frekuensi

f = Cadangan Fading (dB)

Untuk sistem saklar kanal banyak (Multi Channel Switched) faktor perbaikan diversitas frekuensi dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$I_{fd} = 160 \cdot \frac{f}{d \cdot \Gamma} 10^{F/10} \quad (2.29)^{37}$$

Dimana :

f = Frekuensi tengah dari band RF (Radio Frekuensi)

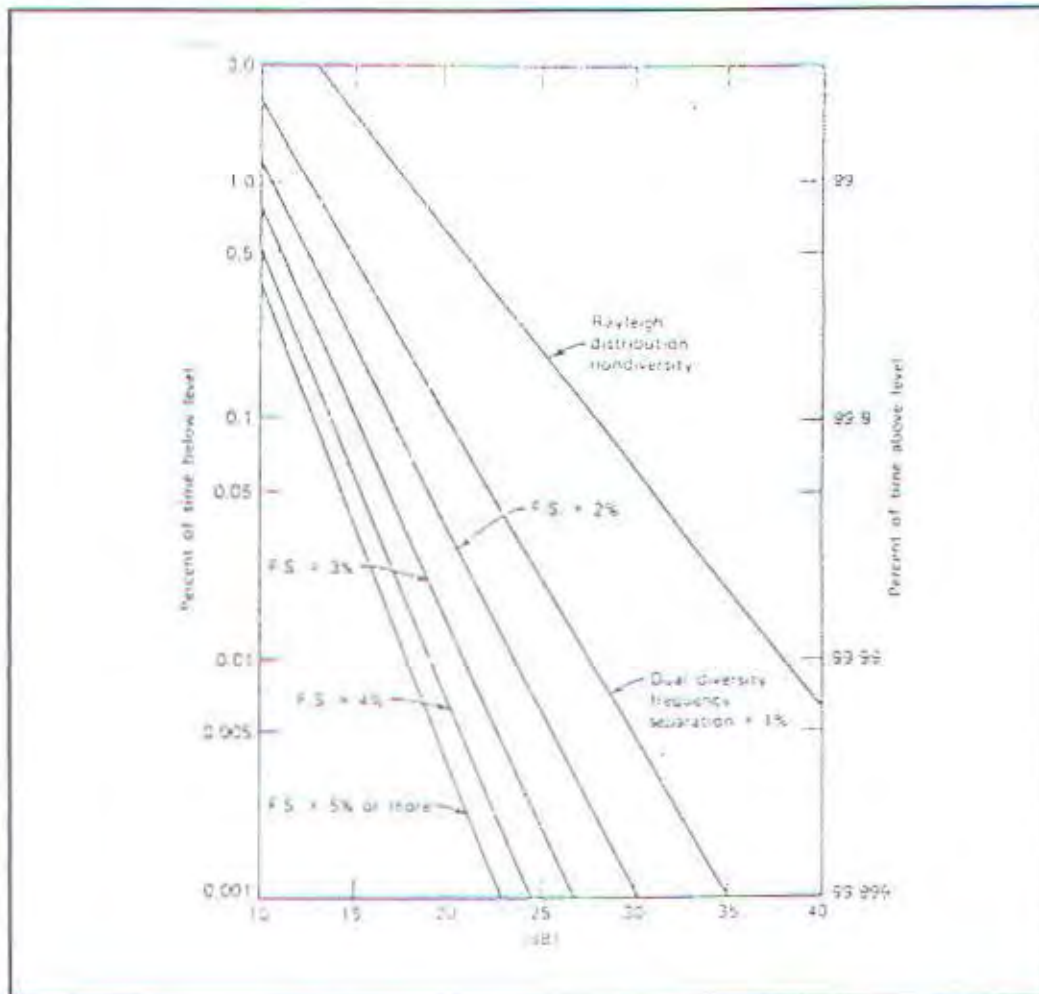
Γ = Parameter yang bergantung pada frekuensi kanal pembawa, pemisahan kanal, dan variasi dari kanal cadangan fading

³⁶ Townsed, A.A.R, Digital Transmission Line-Of-Sight Link A Hand Book, opcit p.507

³⁷ Freeman, Roger .L., Radio Sytem Design For Telecommunication (1-100 GHz), opcit

2.5.2 Sistem Diversitas Ruang

Karena sulitnya penyediaan diversitas frekuensi untuk mengirimkan informasi yang besar, maka diversitas ruang vertikal lebih mudah untuk dioperasikan sebagai alternatif kedua. Diversitas ini menempatkan dua buah antenna yang terpisah dan berbeda ketinggiannya pada menara yang sama di titik penerima. Tiap antenna akan menerima sinyal informasi dari sumber yang sama tetapi memiliki lintasan yang berbeda.



Gambar 2.15 Perbaikan Karena Diversitas Frekuensi

Di dalam sistem diversitas ruang jika dua atau lebih antena ditempatkan dengan gelombang terpisah (dalam bidang vertikal), maka perlu diamati agar multipath fading tidak terjadi secara simultan dalam dua antena.

Penggunaan dua antena dalam ketinggian yang berbeda tersebut akan menyediakan alat pengganti dengan sudut yang tetap, untuk mengubah lintasan elektromagnetik yang berbeda antara gelombang langsung dan gelombang pantul dengan memilih sinyal yang paling kuat di penggabung diversitas (diversity combiner). Jarak antena yang dibutuhkan untuk operasi yang maksimum bagi sistem diversitas ruang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{3\lambda R}{L} \quad (2.30)^{39}$$

Dimana : S = Jarak antar antena (m)
 R = Radius bumi efektif (m)
 λ = Panjang gelombang (m)
 L = Panjang lintasan (Km)

Faktor perbaikan karena diversitas ruang dirumuskan sebagai berikut :

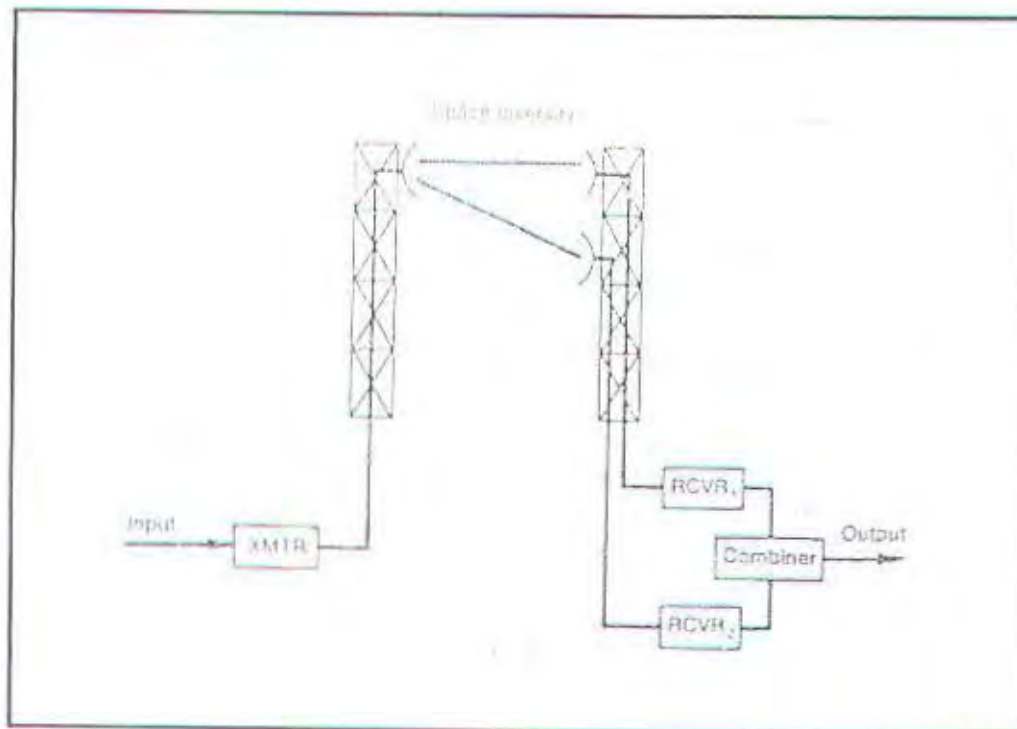
$$I_{sd} = \frac{1,21 \times 10^{-3} f_s^2 \times 10^{F/10}}{D} \quad (2.31)^{40}$$

³⁹ Frenen, Roger L, Telecommunication Transmission Handbook, John Willey & Sons, p.203

⁴⁰ Robert G. Winch, Telecommunication Transmission System, MC. Graw Hill, 1993, p.181

Dimana :

- f = Frekuensi (GHz)
- s = Jarak vertikal antara tengah-tengah antenna (meter)
- D = Pemisahan frekuensi (Km)
- F = Cadangan Fading dari gabungan kedua antenna dalam desibel, jika berbeda diambil nilai terkecil.

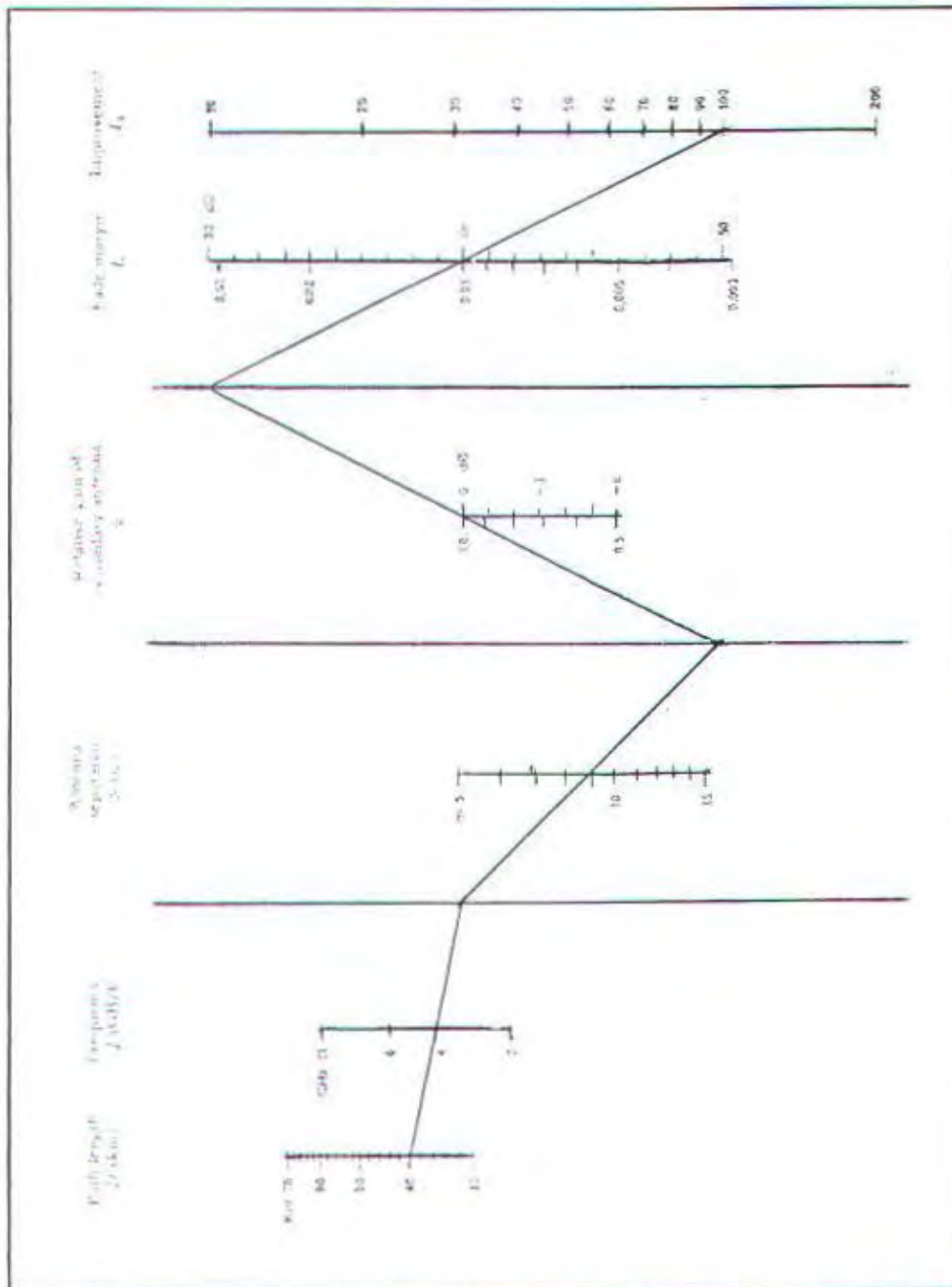


Gambar 2.16 Sistem Diveritas Ruang

41

Gambar 2. 17 Merupakan nomogram yang digunakan untuk menentukan faktor perbaikan dengan metode diversitas ruang.

⁴¹ Ibid, p.68



Gbr 2.17 Nomogram Untuk Menentukan Faktor Perbaikan oleh Diversitas Ruang ⁴²

⁴² Ibid, p. 71

2.6 Profil Lintasan

Metode yang umum dalam merancang lintasan gelombang mikro adalah menggambar profil lintasan dengan semua titik yang berada dalam jalur tersebut. Tujuan dari penggambaran grafik ini adalah untuk menentukan kemungkinan adanya halangan atau pantulan. Arah pancaran gelombang radio atau ketinggian tonjolan bumi harus diatur untuk perhitungan bagi pembiasan gelombang. Penentuan tinggi tonjolan bumi diberikan oleh persamaan :

$$h = \frac{d_1 d_2}{12,76.K} \quad (2.32)^{43}$$

Dimana :

h = Tonjolan bumi, yaitu tinggi permukaan bumi di titik p pada hop relatif terhadap garis antara lokasi A dan B (m)

d_1 = Jarak antara lokasi A dengan titik P pada hop (Km)

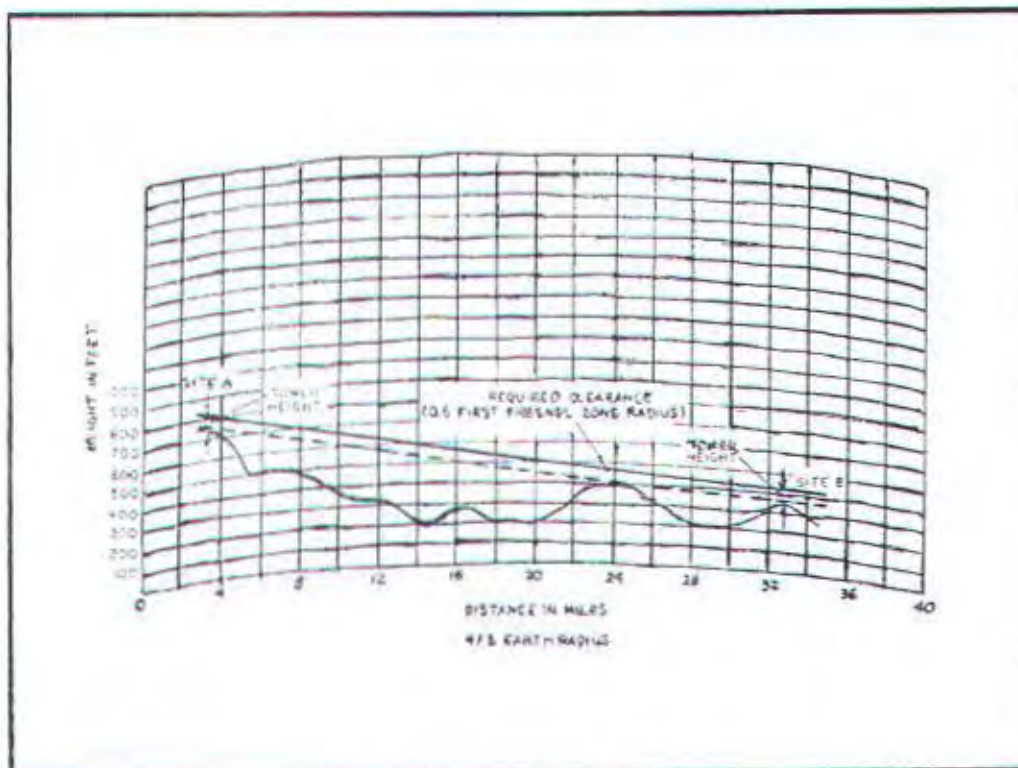
d_2 = Jarak antara lokasi B dengan titik P pada hop (Km)

K = Faktor jari-jari bumi efektif

⁴³ David R. Smith, Digital Transmission System, opcit, p. 377

Untuk menganalisa jalur gelombang mikro, profil dari lintasan bumi digambar dalam kertas grafik rectangular. Pancaran gelombang mikro diperlihatkan sebagai garis lurus antara dua titik. Penggambaran ini mengasumsikan nilai K sama dengan tak terhingga.

Biasanya pancaran gelombang radio merupakan garis lurus tetapi di atas permukaan bumi akan terlihat berubah untuk beberapa variasi nilai K. Nilai K yang rendah akan memberikan kelengkungan bumi lebih besar.



Gambar 2.18 Penggambaran Profil Lintasan dengan $K = 4/3$

⁴⁴ Freeman, Roger L, Radio System Design For Telecommunications (1-100 GHz), opcit p.33

Untuk menggambar keadaan lintasan antara lokasi A dan lokasi B, diperlukan peta dengan garis-garis kontur ketinggian. Peta yang biasa digunakan adalah 1 : 50000 atau 1: 100000. Dengan mengacu kepada garis-garis kontur pada peta, titik-titik permukaan tertinggi dan terendah serta titik-titik yang berada diantaranya ditentukan antara lokasi A dan B. Masing-masing tinggi permukaan digambar di atas peta profil.

Penentuan tinggi antenna dilakukan dengan memperhitungkan bebasnya daerah fresnel dari semua halangan sepanjang lintasan. Gambar 2.18 merupakan contoh dari profil lintasan bebas pandang dengan nilai $K = 4/3$

BAB III

PERENCANAAN LINK RADIO DIGITAL

3.1 Daya Pancar Isotropik Efektif

Daya pancar isotropik efektif (Effektif Isotropic Radiated Power) merupakan daya pancar yang dikeluarkan dari antena ke ruang bebas. Daya pancar isotropik efektif ini merupakan daya keluaran dari frekuensi radio yang telah dikuatkan oleh penguatan antena pemancar, dikurangi rugi-rugi saluran transmisi pengirim. Secara matematis daya pancar isotropik efektif dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{EIRP} = P_o + G_t + L_t \quad (3.1)^{45}$$

Dimana :

P = Daya keluaran RF (Radio Frekuensi)

L_t = Rugi-rugi saluran transmisi pengirim

G_t = Penguatan antena pemancar

3.2. Penguatan Sistem

Penguatan sistem (System Gain) didefinisikan sebagai selisih antara daya yang dikirim dengan level sinyal penerima maksimum (RSL) dalam satuan dB, yang dibutuhkan untuk memenuhi harga bit error rate (BER) tertentu.

⁴⁵ Fremen, Roger L, Radio System Design For Telecommunication (1-100 GHz), opcit p. 45

Penguatan sistem dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$G_t = P_T - RSL_{\min} \quad (3.2)^{46}$$

Dimana: G_t = Penguatan sistem

P_T = Daya yang dikirim

RSL_{\min} = Level sinyal penerima minimum

Level sinyal penerima minimum disebut juga batas ambang penerima, yang harganya ditentukan oleh level derau penerima dan perbandingan sinyal terhadap derau (Signal to Noise Ratio) yang diperlukan untuk memenuhi harga BER tertentu. Daya derau di penerima ditentukan oleh kerapatan spektral daya derau, faktor derau (Noise Figure) penerima, dan lebar pita penerima (bandwidth). Daya derau total sistem adalah :

$$P_N = N_o B N_f \quad (3.3)^{47}$$

Dimana :

P_N = Daya derau total sistem

N_o = Kerapatan spektral daya derau

B = Lebar pita penerima

N_f = Faktor derau (Noise Figure)

⁴⁶ David R Smith ..., opcit p. 425

⁴⁷ Ibid

Sumber daya derau adalah derau termal, yang harganya terutama ditentukan oleh temperatur peralatan. Kerapatan derau termal diberikan dalam persamaan berikut :

$$N_o = k T_o \quad (3.4)^{48}$$

Dimana : k = Konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} Joule/°K)

T_o = Suhu absolut dalam derajat kelvin

Harga T_o diambil dari suhu ruangan (290°K), sehingga harga $kT_o = -204$ dBW/Hz. Harga level sinyal penerima minimum secara empiris dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{RSL}_m &= P_N + S/N \\ &= k T_o B N_f + \frac{S}{N} \end{aligned} \quad (3.5)^{49}$$

Apabila persamaan 3.5 dinyatakan sebagai fungsi dari laju bit (bit rate) R , dan perbandingan energi per bit dengan kerapatan derau (E_b/N_o), dan suhu yang digunakan suhu kamar, maka persamaan diatas akan menjadi :

$$\text{RSL}_m = -204 + 10 \log R + 10 \log N_f + \left(\frac{E_b}{N_o} \right) \quad (3.6)^{50}$$

⁴⁸ Ibid

⁴⁹ Ibid

⁵⁰ Ibid

Penguatan sistem dapat juga dinyatakan dalam bentuk penguatan dan redaman dari link radio, yaitu :

$$G_s = FM + L_p + L_1 + L_m + L_b + L_h + L_a + L_k - G_t - G_r \quad (3.7)^{51}$$

Dengan :

G_s = Penguatan sistem dalam dB.

L_p = Redaman lintasan ruang bebas dalam dB.

FM = Cadangan margin dalam dB.

L_1 = Redaman saluran transmisi untuk menghubungkan gelombang radio ke antena dalam dB

L_m = Redaman-redaman lain dalam dB

L_b = Redaman percabangan yang disebabkan oleh filter dan circulator yang digunakan untuk mencampur atau memisahkan sinyal pengirim dan sinyal penerima dalam satu antena

L_h = Redaman hujan dalam satuan dB.

L_a = Redaman atmosfer dalam satuan dB.

L_k = Redaman awan dan kabut dalam satuan dB.

G_t = Penguatan antena pengirim dalam dB

G_r = Penguatan antena penerima dalam dB

Penguatan sistem merupakan parameter yang penting dalam merancang link mikro agar diperoleh hubungan radio yang memenuhi standar kualitas yang

⁵¹ Ibid, p.426

ada. Penguatan sistem yang besar akan memudahkan dalam merancang link radio.

3.3 Faktor Derau (Noise Figure)

Faktor derau (Noise Figure) didefinisikan sebagai perbandingan antara sinyal terhadap derau (Signal to Noise) pada masukan sistem dengan perbandingan sinyal terhadap derau pada keluaran sistem.

$$N_f = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \quad (3.8)^{52}$$

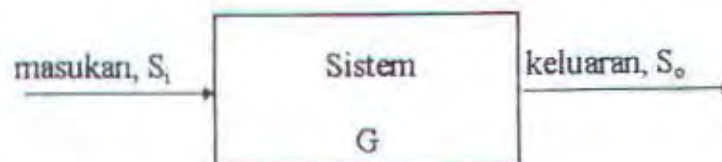
Dimana :

N_f = Faktor derau (Noise Figure).

S_i/N_i = Perbandingan signal to noise pada masukan sistem.

S_o/N_o = Perbandingan signal to noise pada keluaran sistem.

Pada jaringan yang ideal, harga faktor derau sama dengan satu. Kenaikan harga faktor derau menunjukkan kenaikan derau pada sistem.



⁵² Freeman, Roger L, Telecommunication Handbook, John Wiley & Sons, p.28

Sinyal keluaran dapat dinyatakan sebagai fungsi dari gain sistem (G) dan sinyal masukan, yaitu :⁵³

$$S_o = G S_i \quad (3.9)$$

$$N_f = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} = \frac{S_i/N_i}{G S_o/N_o} = \frac{N_o}{G N_f} \quad (3.10)$$

Daya derau keluaran dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$N_o = G N_i + N_s \quad (3.11)^{54}$$

Dimana :

$G N_i$ = Derau masukan yang hanya disebabkan oleh masukan sistem

N_s = Derau tambahan yang dibangkitkan oleh sistem.

Dengan memasukkan persamaan 3.11 dalam persamaan 3.10 maka diperoleh :⁵⁵

$$N_f = 1 + \frac{N_s}{G N_i} \quad (3.12)$$

⁵³ K. Sam Shanmugam, Digital Analog Communication System, John Wiley & Sons, 1979, p. 120

⁵⁴ Ibid p. 54

⁵⁵ Ibid p. 123

Untuk sistem yang terdiri dari n jaringan, didapat :

$$N_f = N_n + \frac{N_{12} - 1}{G_1} + \frac{N_{13} - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{N_{fn} - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (3.13)$$

3.4 Penguatan Antena

Parameter antena yang penting adalah efisiensi radiasi dan penguatan (gain). Efisiensi radiasi didefinisikan sebagai perbandingan dari daya radiasi terhadap daya total yang dikirim ke antena, dan biasanya dinyatakan dalam persen

Selain efisiensi radiasi, parameter antena yang penting dalam merancang link radio adalah gain antena dan secara umum dinyatakan dalam satuan desibel. Sedangkan indikasi dari konsentrasi daya antena yang diradiasikan dinyatakan dalam direktivitas. Gain antena biasanya dibandingkan terhadap gain antena isotropis yang secara teritorial mempunyai gain 1 atau 0 dB.

Untuk antena parabolik tipe reflektor, gain menyatakan fungsi dari efisiensi antena dan direktivitas antena, yaitu :

$$G_a = \eta D \quad (3.14)^{56}$$

Dengan :

$$G_a = \text{Penguatan antena.}$$

⁵⁶ Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, Antenna Theory And Design, John Wiley & Sons, 1981, p.38

η = Efisiensi antenna.

D = Direktivitis antenna

Untuk antenna isotropis sebagai antenna pembanding, direktivitas antenna dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$D = A_{em} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\lambda^2} \quad (3.15)^{57}$$

Dengan : D = Direktivitas antenna

A_{em} = Luas efektif maksimum antenna

λ = Panjang gelombang

Pada sistem radio digital, antenna yang digunakan pada pemancar dan penerima adalah antenna parabola. Luas efektif maksimum antenna parabola adalah :⁵⁹

$$A_{em} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.16)$$

Dengan :

D = Diameter antenna

⁵⁷ Ibid p. 59

⁵⁹ Ibid

Jika persamaan 3.16 dimasukkan ke persamaan 3.15, maka diperoleh :

$$D = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3.17)$$

Sehingga penguatan antenna diperoleh :

$$G_a = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (3.18)$$

Efisiensi antenna tipe reflektor yang digunakan dalam sistem radio biasanya mempunyai efisiensi berkisar antara 50 sampai 70 %. Dengan memasukkan nilai efisiensi (50 %) ini ke dalam persamaan 3.18, maka persamaan diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} G_a &= 20 \log (7,4 D f) \\ &= 17,38 + 20 \log f + 20 \log D \end{aligned} \quad (3.19)^{60}$$

Dengan :

G_a = Penguatan antenna dalam desibel

f = Frekuensi dalam GHz

D = Diameter antenna dalam meter

⁶⁰ Robert G. Winch, Telecommunication Transmission sytem, MC Graw Hill, 1993, p. 139

3.5 Cadangan Fading

Cadangan fading adalah perbedaan antara harga level sinyal terima nominal dengan terima level minimum (RSL_m). Secara matematis cadangan fading dinyatakan sebagai berikut :

$$FM = P_r - RSL_m = G_s - A_t \quad (3.20)^{61}$$

Dengan :

P_r = $P_t - A_t$ = Level sinyal nominal yang diterima

G_s = Penguatan sistem

P_t = Daya keluaran pemancar

A_t = Redaman lintasan dan penguatan antena keseluruhan

Cadangan fading diatas didefinisikan sebagai cadangan fading datar (Fade Fading Margin) yang berhubungan dengan redaman maksimum untuk memberikan batas ambang BER yang dapat diterima. Selain itu ada cadangan fading efektif yang didefinisikan sebagai kedalaman fading yang mempunyai peluang yang sama dengan peluang terjadinya kegagalan yang teramati. Cadangan fading efektif dapat dinyatakan sebagai fungsi peluang terjadinya kegagalan (Outage Time) yang masih diperbolehkan [P_o (%)]. Probabilitas waktu terjadinya kegagalan yang masih diperbolehkan dinyatakan sebagai berikut :

⁶¹ Ibid, p.184

$$P_o (\%) = 6 \times 10^{-5} abfd^3 \times 10^{-FM/10} \quad (3.21)^{62}$$

Dari persamaan 3.21 dapat diturunkan cadangan fading efektif untuk link tanpa proteksi :

$$EFM = 10 \log abf + 30 \log d + 10 \log P_o (\%) - 46.68 \quad (3.22)^{63}$$

Dengan :

EFM = Cadangan fading efektif

a = Faktor permukaan bumi (Terrain Faktor)

b = Faktor iklim (climate factor)

d = Panjang lintasan (Km)

$P_o(\%)$ = Peluang terjadinya kegagalan yang masih diperbolehkan

Perbedaan antara cadangan fading efektif dengan cadangan fading datar merupakan petunjuk adanya pengaruh fading lain, misalnya fading interferensi dan lain-lain. Cadangan fading datar diperoleh dari persamaan berikut :

$$FFM = -10 \log (10^{-EFM/10} - 10^{-OFM/10}) \quad (3.23)$$

Dimana :

EFM = Cadangan fading efektif (Efektif Fade Margin) dalam dB

⁶² Freeman, Roge L., Radio System Design For Telecommunication ..., opcit p. 64

⁶³ David R. Smith ..., opcit p. 428

FFM = Cadangan fading datar (Flat Fading Margin) dalam dB

OFM = Cadangan fading oleh sebab lain dalam dB

3.6 Penempatan Frekuensi

Dalam merancang sistem radio, penempatan frekuensi perlu diperhatikan agar tidak terjadi interferensi dengan sistem lain. Pemilihan frekuensi harus mendapat persetujuan dari lembaga yang berwenang yang mengatur peraturan pemakaian frekuensi lokal.

Untuk penempatan frekuensi nasional, selain harus sesuai dengan rekomendasi yang dikeluarkan oleh International Radio Consultative Committee (CCIR), juga harus sesuai dengan Fundamental Technical Plan yang dikeluarkan oleh Departemen Pariwisata, Pos dan Telekomunikasi. Tabel 3.1 memperlihatkan rekomendasi CCIR untuk penempatan frekuensi pada sistem gelombang mikro digital.

Cara praktis yang biasa digunakan dalam menyusun kanal frekuensi untuk band frekuensi tertentu adalah dengan memisahkan frekuensi kirim dan frekuensi terima. Semua frekuensi kanal kirim ditaruh pada separuh band tersebut dan untuk frekuensi kanal terima ditaruh pada separuh band yang lainnya. Dalam setiap pita separuh tersebut, kanal-kanal yang berdekatan harus terpisah cukup jauh untuk menghindari pelimpahan energi diantara kanal-kanal itu. Untuk menambah pemisahan antara kanal-kanal yang berdekatan dapat dilakukan dengan memakai polarisasi vertikal dan polarisasi horisontal secara silang.

Tabel 3.1 Penempatan Frekuensi untuk Radio Digital ⁶⁵

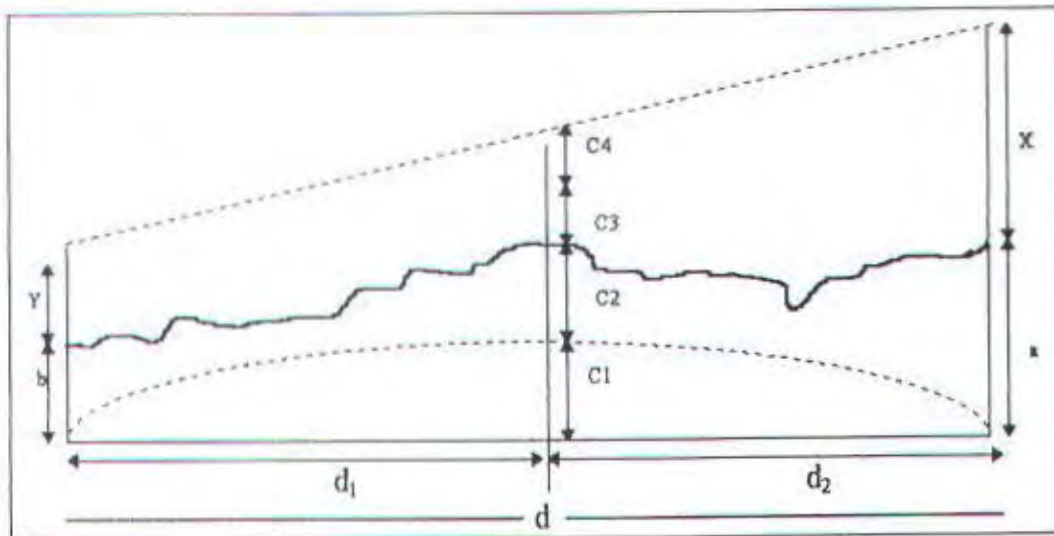
Freq. Band (GHz)	Freq. Range (GHz)	Channel Spacing (MHz)	Modulation Technique	PCM Channel Capacity	Bit Rate (Mb/s)	CCIR Rec. or Report
2	1.9 - 2.3	29	8-PSK	960	70	Report 934 and Rec.382-3
			16-QAM	1344	90	
	2.3 - 2.5	2		24		Report 933
		2		30		Report 933
		4		48		Report 933
4	3.7 - 4.2	4		60		Report 933
		29	8-PSK	960	70	Report 934
			16-QAM	1344	90	and Rec. 382-3
		40	16-QAM		200	Report 935
			8-PSK	960	70	Report 934
6	5.925 - 6.425	29.65	16-QAM	1344	90	and Rec. 383-2
		40	16-QAM		140	Rec. 384-3
			8-PSK	960	70	Report 934
8	7.725 - 8.275	29.65	16-QAM	1344	90	Report 934
			4-PSK		140	Report 782-1
11	10.7 - 11.7	67	8-PSK		140	Report 782-1
		60	16-QAM		140	Report 782-1
		48			140	Report 782-1
13	12.75 - 13.25	28		960	70	Rec.497-2
		14		240	2 x 8.448	Rec.497-2
		35		960	70	Rec.497-2

3.7 Perhitungan Tinggi Antena

Untuk menghitung tinggi antena pada hubungan bebas pandang (Line-Of-Sight), maka syarat yang harus dipenuhi adalah daerah Fresnel harus bebas dari semua halangan. Pada perhitungan tinggi antena, yang harus dilakukan adalah mencari titik halangan tertinggi sepanjang lintasan antara tempat A dan tempat B. Titik tertinggi merupakan penjumlahan dari tonjolan bumi, tinggi

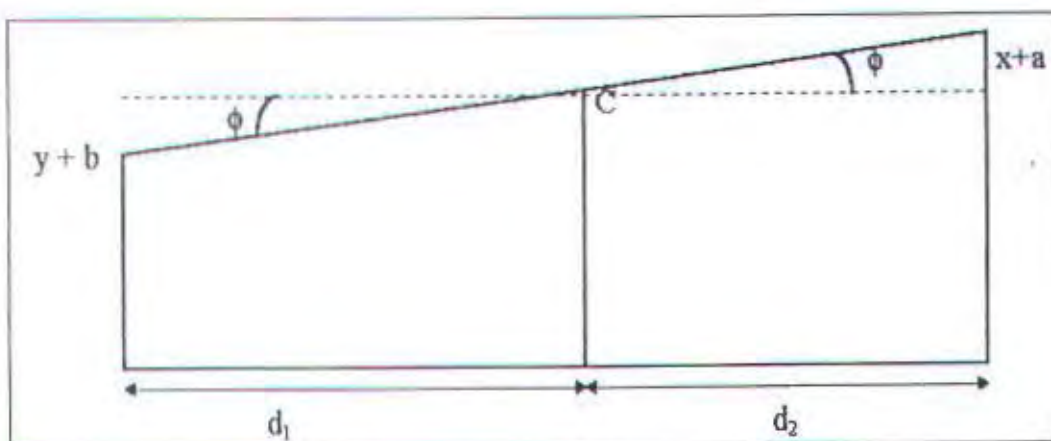
⁶⁵ David R. Smith ..., opcit p.405

halangan, jari-jari Fresnel I, dan cadangan clearance. Titik halangan tertinggi ini dijadikan referensi untuk menghitung tinggi antenna di tempat yang lain.



Gambar 3.1 Peta Kontur Bumi

Untuk memudahkan perhitungan tinggi antenna diadakan penyederhanaan analisa dengan membuat model geometri hubungan bebas pandang seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Geometri Tinggi Antena

Pada gambar 3.2 terlihat bahwa titik C merupakan titik halangan tertinggi. Dengan menarik garis lurus dari titik C ke titik A dan titik B, maka akan diperoleh sudut ϕ yang merupakan sudut antara garis yang menghubungkan titik C ke titik A dan B dengan lintasan bebas pandang. Dari gambar tersebut akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\tan \phi = \frac{(x + a) - c}{d_2} = \frac{c - (y + b)}{d_1} \quad (3.24)$$

dengan $c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$. Persamaan 3.24 dapat disederhanakan menjadi :

$$x - (c - a) = (d_1/d_2) (c - b - y) \quad (3.25)$$

atau : $x - P = R (Q - y)$

dengan : $P = (c - a)$

$$R = (d_1/d_2)$$

$$Q = (c - b)$$

Dari persamaan 3.25 didapat :

$$x = P + QR - R \quad (3.26)$$

atau : $x = S - RY$

dengan : $S = P + QR$

Dari persamaan 3.26 dapat disimpulkan bahwa jika salah satu tinggi antenna diketahui, maka tinggi antenna lainnya akan diperoleh dengan mudah.

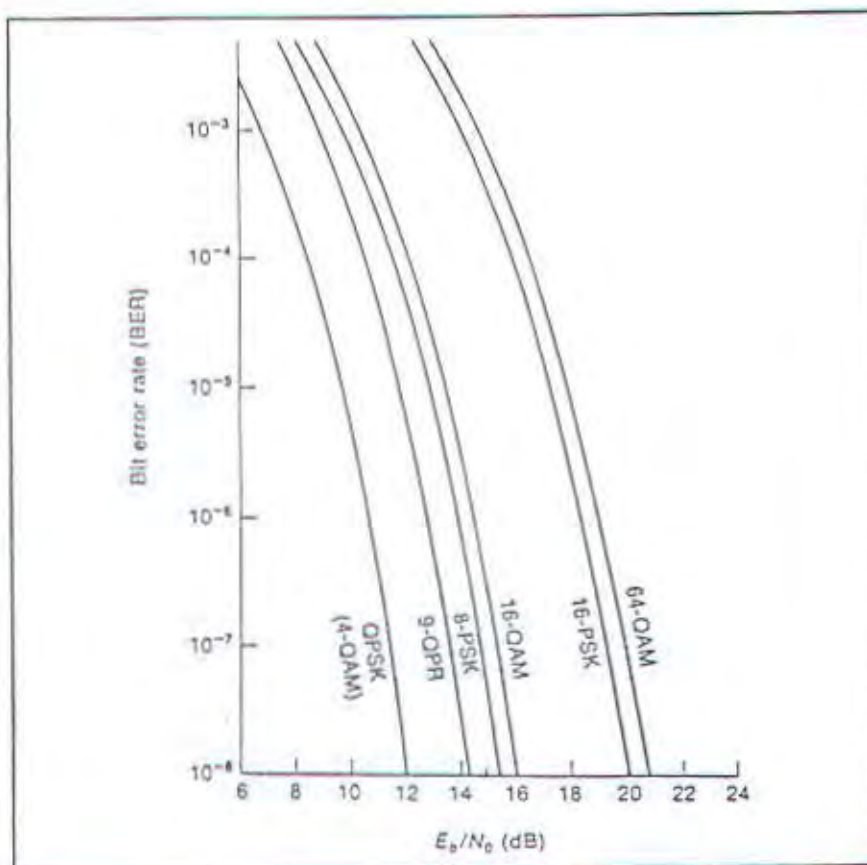
3.8 Unjuk Kerja Sistem

Parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur unjuk kerja sistem adalah :

- Bit error rate (BER)
- Waktu terlampaui (Outtage Time)

3.8.1 Bit Error Rate (BER)

BER didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah bit yang salah terhadap jumlah keseluruhan bit yang ditransmisikan dalam selang waktu yang sama. Harga BER ini digunakan untuk menentukan nilai E_b/N_o dari sistem yang tergantung pada jenis modulasi yang digunakan dalam sistem radio digital.



Gambar 3.3 Grafik BER terhadap E_b/N_o untuk Beberapa Sistem Modulasi ⁶⁶

⁶⁶ Freneen, Roger L., Telecommunication Transmission Handbook ..., opcit p.50

3.8.2 Waktu Terlampaui (Outage-Time)

Paramater lain yang digunakan dalam mengevaluasi kualitas dari sistem radio digital adalah waktu terlampaui (outage-time). Outage time adalah periode waktu yang melebihi batas ambang (threshold) untuk kecepatan kesalahan bit tertentu sehingga sistem gelombang mikro berada dalam kondisi tidak layak pakai out-of service

Ketersediaan obyektif untuk link radio digital ditentukan oleh CCIR dalam Rec.557-1, Dubrovnik 1986. Berdasarkan rekomendasi tersebut, sistem harus mempunyai keandalan 99,7 % dari waktu dalam satu tahun untuk lintasan 2500 Km (Hypotetical Reference Digital Path). Nilai ini ditentukan sebagai suatu standard umum dalam perencanaan sistem radio secara obyektif. Namun dalam prakteknya dipilih nilai obyektif tidak jauh dari selang 99,5 % sampai 99,9 %

Untuk sistem radio dengan panjang lintasan yang berbeda dari Hypotetical Reference Digital Path, harus memenuhi kriteria kinerja kesalahan (probability outage) yang diberikan oleh CCIR dalam rekomendasi 634 dan 556-1.

A. Untuk $280 \text{ Km} \leq L \leq 2500 \text{ Km}$

1. $\text{BER} \geq 10^{-3}$ tidak lebih dari $(L/2500) \times 0,054 \%$ dalam sembarang bulan dalam selang waktu 1 detik.
2. $\text{BER} \geq 10^{-6}$ tidak lebih dari $(L/2500) \times 0,4 \%$ dalam sembarang bulan dalam selang waktu 1 detik.

B. Untuk $L \leq 280$ Km

1. $BER \geq 10^{-3}$ tidak lebih dari $(280 / 2500) \times 0,054 \%$ dalam sembarang bulan dalam selang waktu 1 detik.
2. $BER \geq 10^{-6}$ tidak lebih dari $(280 / 2500) \times 0,4 \%$ dalam sembarang bulan dalam selang waktu 1 detik.

Apabila perancangan jalur radio dianggap sempurna tanpa memperhitungkan pengaruh clearance dan masalah pemantulan serta kontribusi yang diberikan oleh aktifitas manusia selama operasi pemakaian diabaikan, maka ketidaktersediaan obyektif hanya dipengaruhi oleh ketidaktersediaan curah hujan dan atau kasus ketidaktersediaan akibat kerusakan alat.

Untuk menentukan dari ketidaktersediaan hujan (rain unavailability) berdasarkan hasil percobaan untuk beberapa tipe link gelombang mikro digital, ditentukan sebagai berikut :

- Untuk band frekuensi 8/ 11 GHz (long-haul/ back bone, medium-high capacity) ketidaktersediaan hujan tidak boleh lebih dari 0.1 %
- Untuk band frekuensi 13 / 18 GHz (short-haul/ spurs, medium capacity) ketidaktersediaan hujan tidak boleh lebih dari 0.2 %
- Untuk band frekuensi yang lebih besar dari 18 GHz (point to point connection, low medium capacity) ketidaktersediaan hujan tidak boleh lebih dari 0.3 %

Untuk sistem yang menggunakan konfigurasi diversitas, maka faktor perbaikan outage time diberikan sebagai berikut :

$$P_d (\%) = \frac{P_o (\%)}{I_d} \quad (3.27)^{67}$$

Dimana :

$P_d (\%)$ = Persentase dari outage time dengan diversitas

$P_o (\%)$ = Persentase dari outage time tanpa diversitas

I_d = Faktor perbaikan karena diversitas

⁶⁷ Townsed A. A.R, opcit p.388

BAB IV

PERANCANGAN LINK RADIO DIGITAL ANTAR SENTRAL DI MEA BANDUNG

Untuk mengetahui kinerja sistem radio digital, maka perlu perhitungan link radio dari pemancar ke penerima. Link radio yang dirancang ini merupakan hubungan antara beberapa sentral pada Multi Exchange Area (MEA) Bandung.

Pada perhitungan link radio ini, prosedur menghitung harga parameter link radio yang diinginkan dilakukan berdasarkan syarat kegagalan hubungan akibat propagasi. Sedangkan parameter spesifikasi alat yang digunakan dalam perhitungan ini berdasarkan tipe alat DM-11G-1000H.

4.1 Penentuan Tinggi Antena Setiap Hop

Penentuan tinggi antena untuk tiap hop dilakukan dengan menggambar rancangan rute-rute yang menghubungkan sentral-sentral yang ada pada peta topografi. Peta topografi yang digunakan berskala 1 : 50.000 dan mempunyai garis kontur dengan langkah 25 m. Dari sini akan diperoleh tinggi tempat yang dilalui oleh link radio. Titik-titik ketinggian pada link radio tersebut digunakan untuk menentukan tinggi antena di kedua tempat berdasarkan cara menghitung tinggi antena pada bagian 3.7.

Untuk menentukan tinggi antena pada lintasan antara beberapa sentral di Multi Exchange Area Bandung digunakan kriteria sebagai berikut :

1. Digunakan koefisien jari-jari efektif bumi sebesar $4/3$.
2. Besar cadangan clearance untuk pohon dan bangunan sebesar 25 m.
3. Batasan tinggi antena minimum adalah 15 m, dan tinggi maksimum 90 m.
4. Bila salah satu tinggi tidak diketahui, maka penentuan tinggi antena dilakukan dengan asumsi tinggi antena kedua tempat sama.
5. Jika dalam perhitungan tinggi antena yang dicari berharga negatif atau kurang dari 15 meter, maka dalam hal ini digunakan batasan tinggi antena minimum untuk tempat tersebut.
6. Jika tinggi antena yang dicari melebihi batasan tinggi antena maksimum yang ditetapkan, penentuan tinggi antena di kedua tempat diulangi dengan menggunakan cara iterasi. Hasil yang optimum diperoleh bila tinggi antena di kedua tempat berimbang.

Sebagai contoh dapat ditunjukkan perhitungan tinggi antena untuk jalur antara STO Bandung Centrum dengan STO Gegerkalong. Data profil lintasan yang diambil dari peta topografi daerah Bandung adalah sebagai berikut :

Jarak dari STO Centrum	Ketinggian (meter)
0 Km	703
1 Km	751
2 Km	761
3 Km	759
4 Km	800
5 Km	821
6 Km	849
6.5 Km	852

Tonjolan pada lintasan antara kedua STO tersebut terletak pada 2 Km dari STO Centrum. Dari metode bagian 3.7, tinggi antena di STO Gegerkalong dapat ditentukan sebagai berikut :

- Dari persamaan 2.32, tinggi kelengkungan bumi adalah :

$$C1 = 0.529 \text{ meter.}$$

- Dari data lintasan, tinggi tonjolan bumi adalah :

$$C2 = 761 \text{ meter.}$$

- Dari persamaan 2.16, besar jari-jari Fresnel I adalah :

$$C3 = 6.082 \text{ meter}$$

- Besar cadangan clearance yang dianggarkan adalah :

$$C4 = 25 \text{ meter}$$

- Total nilai C = 792.611 meter

- Jika direncanakan tinggi antena di STO Centrum adalah 65 meter, maka dari persamaan 3.24, tinggi antena di STO Gegerkalong adalah :

$$X = 15 \text{ meter}$$

Hasil perhitungan tinggi antena dan penggambaran profil lintasan secara lengkap untuk setiap hop ditunjukkan pada lampiran A

4.2 Penentuan Redaman Hujan untuk Daerah Bandung

Perencanaan penggunaan frekuensi KU-Band ini dilakukan di kota Bandung dengan letak posisi $6^{\circ} 55'$ lintang selatan dan $107^{\circ} 36'$ bujur timur.

Dengan posisi ini, wilayah Bandung mempunyai pola curah hujan tahunan maksimum pada bulan Desember/ Januari dan curah hujan minimum pada bulan Juli/ Agustus.

4.2.1 Data Curah Hujan Daerah Bandung

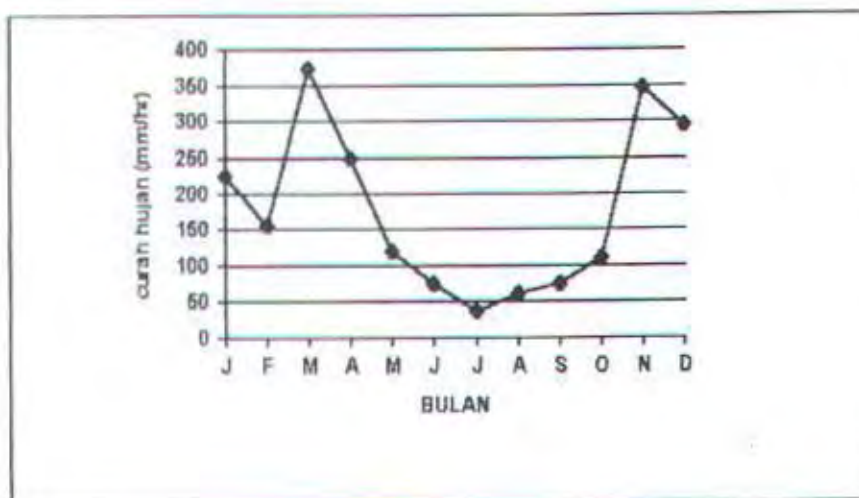
Data curah hujan tahunan diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika Bandung. Pengukuran curah hujan dilakukan untuk integrasi waktu satu hari (24 jam). Tabel 4.1 menunjukkan data curah hujan rata-rata untuk tiap bulan selama selang waktu antara tahun 1991 - 1997.

Gambar 4.2 menunjukkan kurva distribusi kumulatif dari intensitas curah hujan tahunan rata-rata untuk bulan selama enam tahun terakhir.

Untuk data curah hujan dengan prosentase waktu, diperoleh dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh pusat Perencanaan dan Pengembangan Teknologi Informasi (Pusrenbangti) PT Telekomunikasi Indonesia selama periode waktu satu tahun. Pengukuran dilakukan dari tahun 11 Agustus 1990 sampai tanggal 10 Agustus 1991. Tabel 4.2 menunjukkan besarnya curah hujan dari hasil pengukuran langsung dan dari Recommendation CCIR untuk beberapa prosentase waktu. Gambar 4.3 menunjukkan kurva distribusi kumulatif intensitas hujan antara data yang diperoleh dari pengukuran langsung dengan data yang diambil dari Recommendation CCIR, Report 563-3, Dubrovnik 1986, Vol V.

Tabel 4.1 Data Curah Hujan Tahunan Daerah Bandung dari Tahun 1991 - 1997

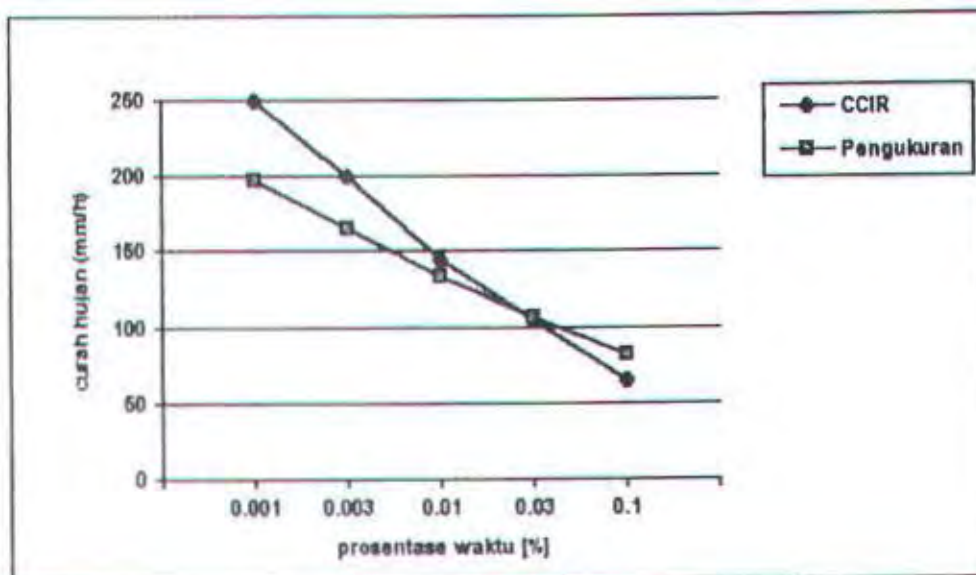
Bulan	Curah Hujan dalam Satuan mm
Januari	224.6
Februari	155.42
Maret	374.12
April	250.30
Mei	120.66
Juni	75.48
Juli	37.74
Agustus	61.90
September	75.90
Oktober	111.05
Nopember	347.42
Desember	295.57



Gambar 4.1 Grafik Kumulatif Curah Hujan Tahunan

Tabel 4.2 Data Curah Hujan dengan Prosentase Waktu

Prosentase Waktu [%]	Hasil Pengukuran [mm/ Jam]	CCIR P Zone [mm/ Jam]
0.1	82.00	65.0
0.03	107.00	105
0.01	133.25	145
0.003	165.50	200
0.0001	197.25	250



Gambar 4.2 Kurva Distribusi Kumulatif dari Intensitas Hujan

Untuk pengukuran curah hujan dengan periode waktu satu tahun, akan diperoleh curah hujan untuk bulan terburuk. Bulan terburuk didefinisikan sebagai bulan yang mempunyai probabilitas tertinggi dari level tegangan yang

melebihi ambang batas (treshhold) selama periode waktu satu tahun. Dengan demikian kegagalan sistem akibat curah hujan paling banyak terjadi pada bulan ini.

Bulan terburuk selama periode satu tahun pengamatan (11 Agustus 1990 sampai 10 Agustus 1991) yang dilakukan oleh Pusrenbangti terjadi pada bulan maret 1991. Tabel 4.3 menunjukkan curah hujan untuk bulan terburuk dengan prosentase waktu tertentu :

Tabel 4.3 Curah Hujan Terburuk pada Tahun 1990 - 1991

Prosentase Waktu	Curah Hujan (mm/h)
0.3	37
0.1	55
0.03	81.5
0.01	96
0.003	111

4.2.2 Perhitungan Redaman Hujan

Penentuan redaman hujan dengan menggunakan metode yang mengacu pada rekomendasi CCIR Rep. 338, 563 dan Rep.721. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan frekuensi 11,2 GHz. Harga koefisien regresi diperoleh dengan metode interpolasi, sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$a_h = 0.01532$$

$$a_v = 0.013658$$

$$b_h = 1.2405$$

$$b_v = 1.2256$$

Dengan menggunakan panjang lintasan 6,5 Km (Jarak antara STO Sentrum dengan STO Gegerkalong), maka besar perhitungan redaman hujan dengan menggunakan tiga metode perhitungan redaman hujan adalah sebagai berikut :

a. Metode 1:

Metode ini menggunakan data dan rumus yang ditetapkan oleh CCIR.

Prosedur perhitungan redaman sebagai berikut :

- Menentukan curah hujan $R_{0.01}$ dari CCIR Rep.563 (P Zone).
- Redaman khusus untuk prosentase waktu 0.01% dihitung dengan menggunakan persamaan 2.24.
- Redaman untuk prosentase waktu yang lain dihitung dengan menggunakan rumus hukum daya dari persamaan 2.25.
- Redaman hujan total dihitung dengan persamaan 2.23.

b. Metode 2 :

Metode ini menggunakan rumus yang ditetapkan CCIR sedangkan data yang digunakan diambil dari hasil pengukuran langsung. Prosedur perhitungan redaman sebagai berikut :

- Menentukan curah hujan untuk prosentase waktu 0.01% ($R_{0.01}$) dari hasil pengukuran langsung.

- Redaman khusus untuk prosentase waktu 0.01% dihitung dengan menggunakan persamaan 2.23.
- Redaman untuk prosentase waktu yang lain dihitung dengan menggunakan rumus hukum daya dari persamaan 2.25.
- Redaman hujan total dihitung dengan persamaan 2.23.

c. Metode 3 :

Metode ini menggunakan data curah hujan $R_{0.01}$ dari bulan terburuk.

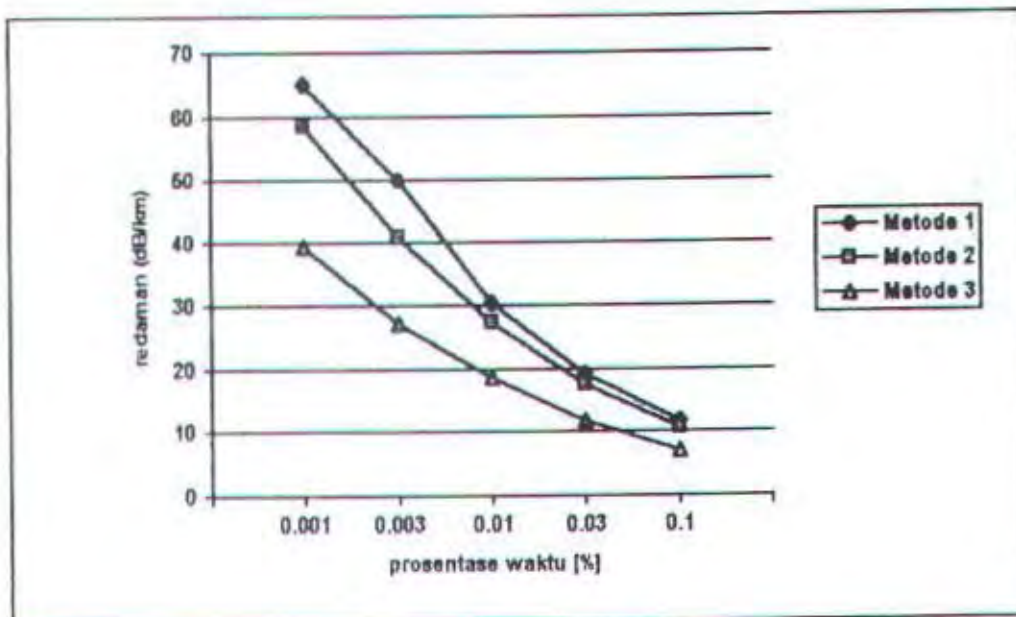
Prosedur perhitungan redaman sebagai berikut :

- Tentukan curah hujan $R_{0.01}$ dari data curah hujan rata-rata dalam bulan terburuk.
- Hitung redaman khusus untuk prosentase 0.01% dengan menggunakan persamaan 2.24.
- Hitung redaman tiap prosentase waktu dengan menggunakan rumus daya dari persamaan 2.25.
- Redaman hujan total dihitung dengan persamaan 2.23

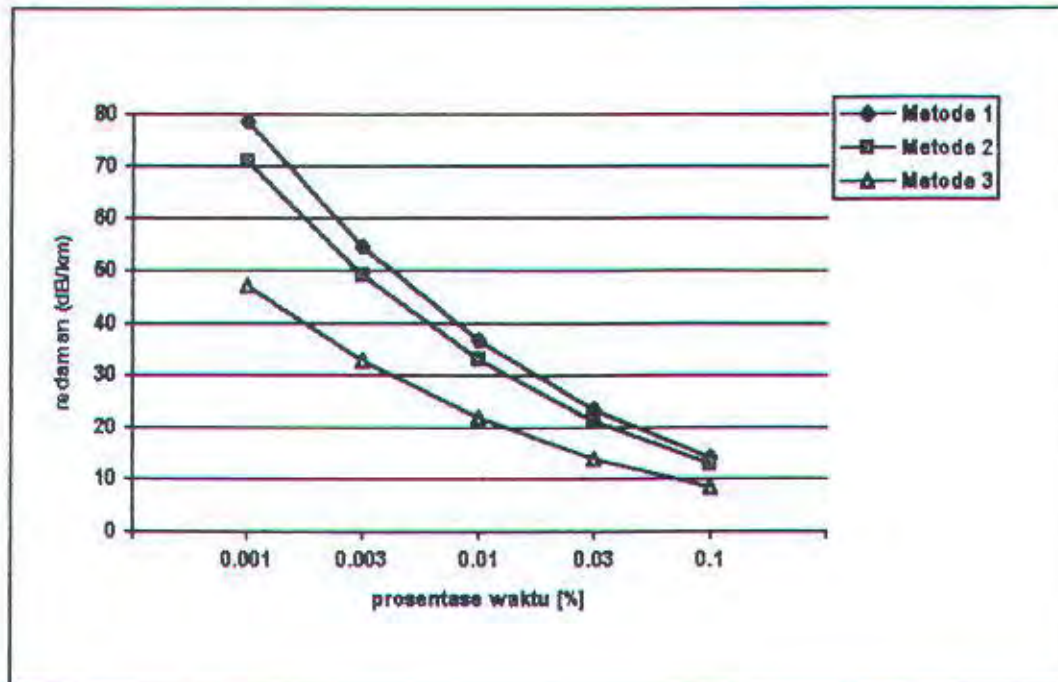
Hasil perhitungan untuk ketiga metode di atas ditunjukkan oleh tabel 4.5. Gambar 4.4 menunjukkan kurva distribusi kumulatif dari redaman hujan untuk jenis polarisasi vertikal, sedangkan gambar 4.5 menunjukkan kurva distribusi kumulatif untuk jenis polarisasi horisontal.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Redaman Hujan

P [%]	Metode 1 [dB]		Metode 2 [dB]		Metode 3 [dB]	
	A vertikal	A horisontal	A vertikal	A horisontal	A vertikal	A horisontal
0.1	11.858	14.317	10.686	12.892	7.150	8.583
0.03	19.427	23.454	17.506	21.121	11.713	14.061
0.01	30.481	36.799	27.467	33.138	18.378	22.062
0.003	49.935	54.732	40.867	49.302	27.343	32.824
0.001	65.166	78.649	58.724	70.848	39.292	47.168



Gambar 4.3 Distribusi Kumulasi Redaman Hujan Polarisasi Vertikal



Gambar 4.4 Distribusi Kumulasi Redaman Hujan Polarisasi Horisontal

4.3 Penentuan Redaman Atmosfer

Redaman karena gas-gas atmosfer dihitung berdasarkan data klimatologi yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan. Tabel 4.5 menunjukkan data klimatologi rata-rata tahunan untuk daerah Bandung selama enam tahun terakhir (1991-1997).

Gas-gas atmosfer yang menyebabkan redaman adalah oksigen dan uap air, sedangkan gas-gas lain kontribusinya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Redaman yang disebabkan oleh oksigen dan uap air merupakan fungsi dari suhu, kelembaban udara dan frekuensi kerja sistem radio. Perhitungan redaman

dilakukan dengan dua cara yaitu perhitungan dengan menggunakan rumus dan perhitungan berdasarkan pembacaan dari grafik CCIR Rep.719.

Data klimatologi daerah Bandung tahun 1991 - 1997

Tahun	Temperatur (°C)	Tekanan Udara (mb)	Kelembaban Nisbi (%)
1991	23.30	922.68	75.90
1992	22.59	923.00	81.75
1993	23.00	922.77	78.25
1994	22.88	922.53	75.25
1995	23.10	922.18	81.00
1996	22.60	922.40	79.00
1997	22.70	922.90	80.00
Rata-rata	22.805	922.59	79.53

Perhitungan besar redaman dengan metode rumus menggunakan referensi dari Report 563 dan persamaan 2.18, 2.19 , 2.20. Hasil perhitungan secara lengkap ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Redaman Atmosfer

Jenis Gas	Perhitungan Rumus [dB/km]	Perhitungan Grafik [dB/km]
Oksigen [O ₂]	0.007185	0.007
Uap Air [H ₂ O]	0.016058	0.008
Total	0.023243	0.015

4.4 Penentuan Redaman Awan dan Kabut

Untuk menghitung redaman akibat awan dan kabut, terlebih dahulu harus ditentukan harga koefisien redaman. Dalam perhitungan ini harga koefisien redaman diperoleh dari grafik gambar 2.13. Karena jenis awan yang terjadi di atas daerah Bandung sulit untuk ditentukan, maka diambil jenis awan yang memiliki kerapatan uap air terbesar yaitu awan Cumulonimbus. Jenis awan ini memiliki kerapatan uap air rata-rata $2,5 \text{ g/m}^3$. Besar redaman awan dan kabut ditentukan sebagai berikut :

- Koefisien redaman diperoleh dari gambar 2.13

$$K_c = 0,055$$

- Redaman awan dan kabut diperoleh dari persamaan 2.27.

$$\begin{aligned} A_c &= 0,055 \times 2,5 \\ &= 0,1375 \text{ dB/ Km.} \end{aligned}$$

4.5 Penentuan Kinerja Setiap Hop

Dalam perhitungan unjuk kerja sistem setiap hop, parameter yang dihitung adalah besar peluang fading dibawah batas ambang sinyal yang diterima minimum. Besar peluang fading ini dapat dinyatakan dalam waktu ataupun dalam prosen. Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan besar peluang fading yang disyaratkan oleh CCIR.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menghitung besar peluang fading dibawah ambang adalah sebagai berikut :

1. Mencari redaman ruang bebas yang diperoleh dari persamaan 2.1
2. Menentukan jenis polarisasi gelombang yang digunakan.
3. Mencari redaman hujan untuk prosentase waktu 0.01 %
4. Mencari redaman atmosfer, redaman awan dan kabut.
5. Mencari redaman sistem total, yaitu jumlah redaman saluran, redaman ruang bebas, redaman hujan efektif, redaman atmosfer efektif, redaman awan dan kabut efektif, redaman pencabangan, redaman campuran.
6. Harga E_b/N_0 diperoleh dari gambar 3.3 untuk harga BER yang diinginkan dan jenis modulasi yang digunakan.
7. Dari persamaan 3.6 akan diperoleh batas ambang daya yang diterima (RSL minimum) untuk harga BER yang dirancang.
8. Penguatan sistem diperoleh sebagai hasil selisih antara daya pancar dengan level sinyal terima minimum.
9. Besar cadangan fading (FM) untuk BER yang dirancang akan diperoleh dari selisih daya yang diterima nominal (P_r) dan batas ambang daya yang diterima (RSL minimum) sesuai dengan persamaan 3.20.
10. Pada umumnya cadangan fading datar jauh lebih besar dari cadangan fading lainnya, maka cadangan fading dianggap sama dengan cadangan fading datar.
11. Dengan diperoleh cadangan fading, besar peluang fading dibawah batas ambang akan didapat berdasarkan persamaan 3.21.
12. Besar peluang fading diatas akan diperbandingkan dengan besar peluang fading yang dipersyaratkan CCIR. Besar peluang fading yang dipersyaratkan diperoleh dari Report 634 dan 556-1.

Sebagai contoh perhitungan link gelombang mikro digital, diambil kasus jalur antara STO Bandung Centrum dengan STO Gegerkalong untuk Bit Error Rate 10^{-7} dengan polarisasi vertikal. Data lintasan dan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Frekuensi kerja (center frekuensi)	: 11,2 GHz
- Panjang lintasan	: 6,5 Km
- Diameter antena	: 1,2 m
- Daya keluaran pemancar	: 29 dBm
- Sistem Modulasi	: 16 - QAM
- Bit rate	: 140 Mbps
- Noise Figure	: 3,5 dB
- Faktor redaman saluran transmisi (WC 281)	: 0,0092 dB/m
- Panjang saluran pengirim horisontal	: 45 m
- Panjang saluran penerimaan horisontal	: 45 m
- Redaman hujan	: 5,252 dB/ km
- Redaman percabangan	: 3 dB
- Redaman campuran (lain-lain)	: 3 dB

■ Penguatan antena diperoleh dari persamaan 3.19

$$\begin{aligned}
 G_a &= 17,38 + 20 \log 11,2 + 20 \log 1,2 \\
 &= 39,948 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- Daya pancar isotropik efektif diperoleh dari persamaan 3.1

$$\begin{aligned} \text{EIRP} &= 29 - [0.0092 \times (45 + 65)] + 39,948 \\ &= 67,936 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Redaman ruang bebas diperoleh dari persamaan 2.1

$$\begin{aligned} \text{FSL} &= 92,5 + 20 \log 11,2 + 20 \log 6,5 \\ &= 129,743 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Redaman hujan efektif diperoleh dari persamaan 2.23

$$\begin{aligned} A &= 5,252 \times 6,5 \times \frac{90}{90 + (4 \times 6,5)} \\ &= 26,833 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Redaman atmosfer diperoleh dari persamaan 2.20

$$\begin{aligned} A &= 0,023243 \times 6,5 \\ &= 0,151 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Redaman awan dan kabut dari persamaan 2.27

$$\begin{aligned} A &= 0,1375 \times 6,5 \\ &= 0,894 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Level sinyal terima minimum untuk BER 10^{-7} dari persamaan 3.6

$$\begin{aligned} \text{RSL}_{\text{m}} &= -204 + 10 \log 140.000.000 + 3,5 + 15,5 \\ &= -103,539 \text{ dB} \\ &= -73,539 \text{ dBm} \end{aligned}$$

- Penguatan sistem diperoleh dari persamaan 3.2

$$\begin{aligned} G_s &= 29 - (-73,539) \\ &= 102,539 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Cadangan fading diperoleh dari persamaan 3.20

$$\begin{aligned} \text{FM} &= 102,539 + 39,948 + 39,948 - (129,642 + 26,833 + \\ &\quad 0,151 + 0,894 + 3 + 3 + 1,012 + 0,5521) \\ &= 17,25 \text{ dB} \end{aligned}$$

- Prosentase P_o [%] diperoleh dari persamaan 3.21 (dengan $a = 1$ dan $b = 0,25$)

$$\begin{aligned} P_o[\%] &= 6 \times 10^{-5} \times 1 \times 0,25 \times 11,2 \times 6,5^3 \times 10^{-17,25/10} \\ &= 0.000869 \% \end{aligned}$$

- Ketersediaan/ keandalan sistem

$$100 - 0,000869 = 99,999131 \%$$

Apabila digunakan diversitas ruang dengan fading margin antenna kedua sama dengan antenna pertama, dan jarak dua buah antenna di penerima sebesar 10 m, maka faktor perbaikan oleh diversitas ruang dapat diperoleh dari persamaan 2.31 :

$$\begin{aligned} I_{rd} &= \frac{1,21 \times 10^{-3} \times 11,2 \times 10^2 \times 10^{1,725}}{6,5} \\ &= 11,0685 \end{aligned}$$

■ Kegagalan diversitas adalah :

$$\begin{aligned} U_{rd} &= \frac{0,0006658}{11,0685} \\ &= 0,000078 \end{aligned}$$

■ Ketersediaan/ keandalan lintasan adalah :

$$\begin{aligned} P_{rd} &= 100 - 0,000078 \\ &= 99,99922 \% \end{aligned}$$

Apabila digunakan diversitas frekuensi dengan cadangan fading sistem kedua sama dengan sistem pertama, dan pemisahan 2 (dua) buah frekuensi sebesar 300 MHz, maka faktor perbaikan oleh diversitas frekuensi dapat diperoleh dari persamaan 2.28 :

$$\begin{aligned} I_{fd} &= \frac{0,8 \times 0,3 \times 10^{1,725}}{11,2 \times 11,2 \times 6,5} \\ &= 0,0156 \end{aligned}$$

- Kegagalan diversitas adalah :

$$\begin{aligned} U_{fd} &= \frac{0,000869}{0,0156} \\ &= 0,0557 \end{aligned}$$

- Ketersediaan/ keandalan lintasan adalah :

$$\begin{aligned} P_{fd} &= 100 - 0,0557 \\ &= 99,9443 \% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, penggunaan diversitas ruang merupakan salah satu perbaikan sistem yang cocok bagi Link STO Sentrum - STO Gegerkalong (memenuhi standar kualitas CCIR).

BAB V

ANALISA HASIL PERHITUNGAN

Pemanfaatan frekuensi KU-Band pada frekuensi 11,2 GHz sebagai jaringan penghubung antar sentral di Multi Area Exchange Bandung ditentukan berdasarkan unjuk kerja dari masing-masing lintasan. Unjuk kerja dari perencanaan sistem komunikasi ini ditentukan berdasarkan probabilitas waktu terlampui (Probability outage-time), dimana untuk frekuensi 11,2 GHz parameter ini sangat dipengaruhi oleh redaman hujan, atmosfer, awan dan kabut. Nilai dari parameter ini dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh CCIR.

5.1 Analisa Redaman Hujan

Data curah hujan yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan data yang diperoleh dari rekomendasi CCIR untuk prosentase waktu kurang dari 0.03 %. Redaman karena hujan dihitung dengan prosentase waktu 0.01 %, dan untuk perancangan ini diambil dari redaman yang dihitung berdasarkan data pengukuran langsung. Untuk prosentase waktu yang lain, redaman hujan diturunkan dari nilai redaman pada prosentase waktu 0.01 %.

Untuk menentukan besar redaman sepanjang lintasan gelombang radio, maka redaman hujan yang dihasilkan dari perhitungan harus dikalikan dengan

faktor koreksi lintasan (r). Hal ini disebabkan hujan tidak selalu terjadi sepanjang lintasan dan besar curah hujan juga tidak selalu sama sepanjang lintasan.

Besar redaman hujan sangat dipengaruhi oleh jenis polarisasi gelombang yang digunakan. Pada polarisasi vertikal, redaman yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan polarisasi horisontal.

Oleh karena itu, dalam perancangan sistem radio dengan frekuensi KU-Band dianjurkan untuk memakai polarisasi gelombang vertikal agar diperoleh keandalan sistem yang lebih baik.

5.2 Analisa Redaman Atmosfer

Redaman atmosfer yang terdiri dari redaman oksigen dan redaman uap air memiliki kontribusi yang kecil pada frekuensi 11,2 GHz. Untuk redaman karena oksigen, harga redaman dapat langsung dicari dari grafik pada gambar 2.7. Nilai yang diperoleh dari grafik ini tidak jauh berbeda dengan nilai yang diperoleh dari perhitungan. Hal ini disebabkan redaman karena oksigen hanya merupakan fungsi dari frekuensi. Sedangkan untuk redaman karena uap air, nilai redaman yang diperoleh dari grafik akan mempunyai kesalahan yang besar, hal ini karena hasil pada grafik menggunakan suhu 15°C dengan kerapatan uap air $7,5 \text{ gr/m}^3$. Perhitungan redaman uap air dengan menggunakan rumus akan menghasilkan nilai dengan kesalahan minimum, mengingat redaman uap air ini dipengaruhi tidak saja oleh frekuensi tetapi juga merupakan fungsi dari suhu dan kerapatan uap air.

Pada frekuensi 11,2 GHz harga redaman atmosfer di wilayah Bandung hanya 0.023243 dB/km, sehingga pengaruhnya bagi sistem propagasi dapat diabaikan.

5.3 Analisa Redaman Karena Awan dan Kabut

Awan dan kabut biasanya terjadi pada ketinggian 50-100 meter di atas permukaan air laut. Redaman awan dan kabut selain dipengaruhi frekuensi, juga merupakan fungsi dari kerapatan uap air dan temperatur. Kerapatan uap air dari awan dan kabut tergantung jenis awan dan kabut tersebut. Awan jenis Stratiform mempunyai kandungan uap air antara 0.05 sampai 0.25 g/m^3 . Jenis awan Stratocumulus, dimana merupakan tipe awan yang terbanyak mempunyai nilai kandungan uap air maksimum antara 0.3 sampai 1.3 g/m^3 . Awan Cumulus, khususnya cumulonimbus dan cumulus congestus mempunyai nilai kandungan uap air yang paling besar. Awan cumulus congestus mempunyai nilai kandungan uap air rata-rata 2 g/m^3 dan 2.5 g/m^3 untuk awan cumulonimbus. Kandungan uap air kabut mempunyai nilai antara 0.1 sampai 0.2 g/m^3 , sehingga pengaruhnya dapat diabaikan.

Karena jenis awan yang terjadi di suatu daerah sulit untuk ditentukan, maka dalam perhitungan redaman awan dan kabut diambil nilai rata-rata jenis awan yang mempunyai kandungan uap air terbesar. Dari hasil perhitungan redaman untuk awan dan kabut diperoleh hasil 0,1375 dB/km. Untuk jarak hop yang panjang nilai redaman ini harus diperhitungkan agar diperoleh nilai keandalan sistem pada kondisi terburuk.

5.4 Analisa Unjuk Kerja Sistem

Pada perancangan link gelombang mikro biasanya ada dua parameter yang digunakan untuk mengukur keandalan sistem, yaitu bit error rate dan probabilitas waktu terlampui. Harga bit error rate dipengaruhi oleh harga E_b/N_0 dan jenis modulasi yang digunakan, sedangkan probabilitas waktu terlampui ditentukan oleh besarnya cadangan fading (Fade Margin) yang disediakan oleh sistem.

Cadangan fading yang digunakan untuk menentukan probabilitas waktu terlampui ditentukan dari gabungan antara cadangan fading datar dan cadangan fading selektive. Untuk jarak lintasan yang relatif pendek harga cadangan fading selektive relatif kecil dibandingkan dengan cadangan fading datar, sehingga dalam perhitungan ini cadangan fading selektive diabaikan.

Standar CCIR menetapkan bahwa untuk jenis komunikasi suara batas maksimum bit error rate yang masih diperkenankan sebesar 10^{-3} , sedangkan untuk komunikasi data harga bit error rate yang masih diperkenankan sebesar 10^{-6} . Namun karena dalam suatu sistem komunikasi gelombang mikro biasanya tidak terdiri dari satu macam jenis komunikasi saja, maka harga bit error rate diambil untuk nilai yang terkecil. Dalam perancangan ini, harga bit error rate yang digunakan sebesar 10^{-7} dengan jenis modulasi 16-QAM. Dengan sistem modulasi ini maka harga untuk bit error rate di atas dapat ditentukan nilai E_b/N_0 yang akan menentukan level daya minimum pada sisi penerima.

Hasil perhitungan untuk masing-masing link seperti dibawah ini :

- Link Turangga - Barat

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan Link Turangga - Barat

Jarak Lintasan	6 Kilometer			
Polarisasi	Vertikal		Horisontal	
Diameter Antena	1.2	1.5	1.2	1.5
Redaman Total	162.131	162.131	167.711	167.711
Penguatan sistem	102.539	102.539	102.539	102.539
Cadangan Fading	20.304	24.18	14.8	18.6
Ro [%]	99.999662	99.99986	99.9988	99.9995
Rsd [%]	99.999990	99.999998	99.9998	99.99997
Rfd [%]	99.993068	99.99834	99.8752	99.9783

Dari hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa keandalan sistem memenuhi standar kualitas yang ditetapkan CCIR karena ketersediaan sistem masih di atas 99,95519 %, baik sistem yang menggunakan polarisasi vertikal maupun polarisasi horisontal. Untuk sistem di atas penggunaan diversitas ruang akan menaikkan keandalan sistem secara keseluruhan. Perbaikan sistem dengan diversitas frekuensi tidak akan menaikkan keandalan sistem yang lebih besar. Untuk link diatas, diversitas frekuensi akan memperbaiki sistem apabila cadangan fading yang diperoleh lebih besar dari 35 dB.

- Link Sentrum - Gegerkalong

Untuk jalur ini, hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem memenuhi standard CCIR baik polarisasi gelombang yang digunakan vertikal maupun horisontal untuk semua jenis diameter antena yang dirancang. Perbaikan sistem dengan menggunakan diversitas sangat tergantung terhadap



Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Link Sentrum - Gegerkalong

Jarak Lintasan	6.5 Kilometer			
Polarisasi	Vertikal		Horisontal	
Diameter Antena	1.2	1.5	1.2	1.5
Redaman Total	165.185	165.185	170.779	170.779
Penguatan sistem	102.539	102.539	102.539	102.539
Cadangan Fading	17.25	21.126	11.656	15.532
Ro [%]	99.999131	99.999640	99.99685	99.99871
Rsd [%]	99.99922	99.999987	99.99897	99.99983
Rfd [%]	99.966210	99.99067	99.26891	99.87730

cadangan fading yang diperoleh sistem. Untuk sistem diversitas ruang, apabila cadangan fading yang diperoleh kurang dari 6.881 dB, maka penggunaan sistem diversitas ini tidak akan mampu memperbaiki keandalan sistem. Sedangkan untuk sistem diversitas frekuensi, apabila cadangan fading kurang dari 35.32 dB, maka penggunaan sistem diversitas ini juga tidak akan mampu memperbaiki keandalan sistem. Cadangan fading dapat ditingkatkan dengan menambah diameter antena atau daya pancar.

- Link Timur - Barat

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan Link Timur - Barat

Jarak Lintasan	7.9 Kilometer			
Polarisasi	Vertikal		Horisontal	
Diameter Antena	1.2	1.5	1.2	1.5
Redaman Total	170.658	170.658	177.545	177.545
Penguatan sistem	102.539	102.539	102.539	102.539
Cadangan Fading	11.777	15.653	4.89	8.766
Ro [%]	99.9945	99.99775	99.97314	99.989
Rsd [%]	99.99787	99.99964	99.94932	99.99148
Rfd [%]	98.494	99.74681	64.02839	93.96533

Untuk link STO Barat - STO Timur ini, sistem radio memenuhi standar kualitas untuk semua jenis polarisasi. Perbaikan sistem dengan menggunakan sistem diversitas harus benar-benar memperhatikan terhadap cadangan fading yang diperoleh sistem.

Apabila perbaikan sistem menggunakan diversitas ruang, sedangkan cadangan fading yang diperoleh kurang dari 7.66 dB, maka cadangan fading harus ditingkatkan dengan menambah diameter antena agar diversitas ini mampu menaikkan keandalan sistem. Perbaikan sistem dengan menggunakan diversitas frekuensi tidak akan menambah keandalan sistem, apabila cadangan fading kurang dari 36.2 dB. Karena sistem diversitas frekuensi membutuhkan cadangan fading yang lebih besar, maka diversitas ini jarang digunakan.

- Link Timur - Gegerkalong

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Link Timur - Gegerkalong

Jarak Lintasan	8.7 Kilometer			
Polarisasi	Vertikal		Horisontal	
Diameter Antena	1.2	1.5	1.2	1.5
Redaman Total	173.8652	173.8652	180.9212	180.9212
Penguatan sistem	102.539	102.539	102.539	102.539
Cadangan Fading	8.57	12.445	1.514	5.3898
Ro [%]	99.9846	99.9937	99.922	99.96802
Rsd [%]	99.9863	99.99764	99.63853	99.93928
Rfd [%]	90.273	98.33134	-56.07354	56.993

Hasil perhitungan unjuk kerja untuk link ini menunjukkan bahwa sistem tidak memenuhi standar CCIR untuk jenis polarisasi horisontal dengan diameter antena 1.2 meter. Perbaikan sistem dengan menggunakan diversitas ruang akan

mampu menaikkan keandalan sistem pada jenis gelombang dengan polarisasi vertikal, hal ini karena cadangan fading pada sistem tersebut lebih besar dari 8.153 dB. Perbaikan sistem dengan menggunakan diversitas frekuensi tidak akan mampu memperbaiki keandalan sistem.

- Link Turangga - Gegerkalong

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Link Turangga - Gegerkalong

Jarak Lintasan	8.7 Kilometer			
Polarisasi	Vertikal		Horisontal	
Diameter Antena	1.2	1.5	1.2	1.5
Redaman Total	173.8652	173.8652	180.9212	180.9212
Penguatan sistem	102.539	102.539	102.539	102.539
Cadangan Fading	8.57	12.445	1.514	5.3898
Ro [%]	99.9846	99.9937	99.922	99.96807
Rsd [%]	99.9863	99.99764	99.63853	92.3839
Rfd [%]	90.273	98.33134	-56.07354	56.993

Hasil perhitungan unjuk kerja link antara STO Turangga dengan STO Gegerkalong tidak berbeda dengan hasil perhitungan link STO Timur dengan STO Gegerkalong, karena jarak lintasan dan tinggi antena sama. Perbaikan sistem hanya dapat dicapai dengan menggunakan sistem diversitas ruang. Sedangkan untuk penggunaan sistem diversitas frekuensi diperlukan cadangan fading yang lebih besar, oleh karena itu sistem diversitas ini agak jarang digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Besar redaman hujan sangat tergantung pada jenis polarisasi yang digunakan, dimana polarisasi vertikal mempunyai redaman yang lebih kecil dibandingkan dengan polarisasi horisontal, Besar redaman hujan untuk Link STO Sentrum - STO Gegerkalong untuk prosentase waktu 0.01 % pada polarisasi vertikal sebesar 27.467 dB sedangkan pada polarisasi horisontal sebesar 33.138 dB.
2. Redaman atmosfer serta redaman awan dan kabut untuk daerah Bandung dapat diabaikan pengaruhnya dalam perancangan sistem ini karena redamannya dibawah 1 dB/Km
3. Penggunaan frekuensi 11,2 GHz untuk komunikasi antar sentral di wilayah MEA Bandung ditinjau dari kehandalan (Reliability) sistem dan ketinggian obstacle dengan besarnya jari-jari fresnel memenuhi standar kualitas CCIR.

6.2 Saran

1. Agar diperoleh keandalan sistem yang tinggi maka perlu dilakukan penelitian yang lebih seksama terhadap kondisi alam, seperti kondisi permukaan bumi, kondisi atmosfer dan curah hujan untuk periode waktu yang relatif lama.
2. Untuk menghindari terlampauinya batas cadangan fading yang ada, maka disarankan untuk menambah daya pemancar dan memperbesar diameter antena.
3. Untuk mengetahui sistem yang dirancang benar-benar bebas pandang, maka perlu dilakukan uji lensa terlebih dahulu sebelum dioperasikan.
4. Dianjurkan untuk memperhitungkan kebutuhan pelanggan di masa depan dan ragam jenis pelayanan untuk mendapatkan sistem yang sesuai dan optimum.

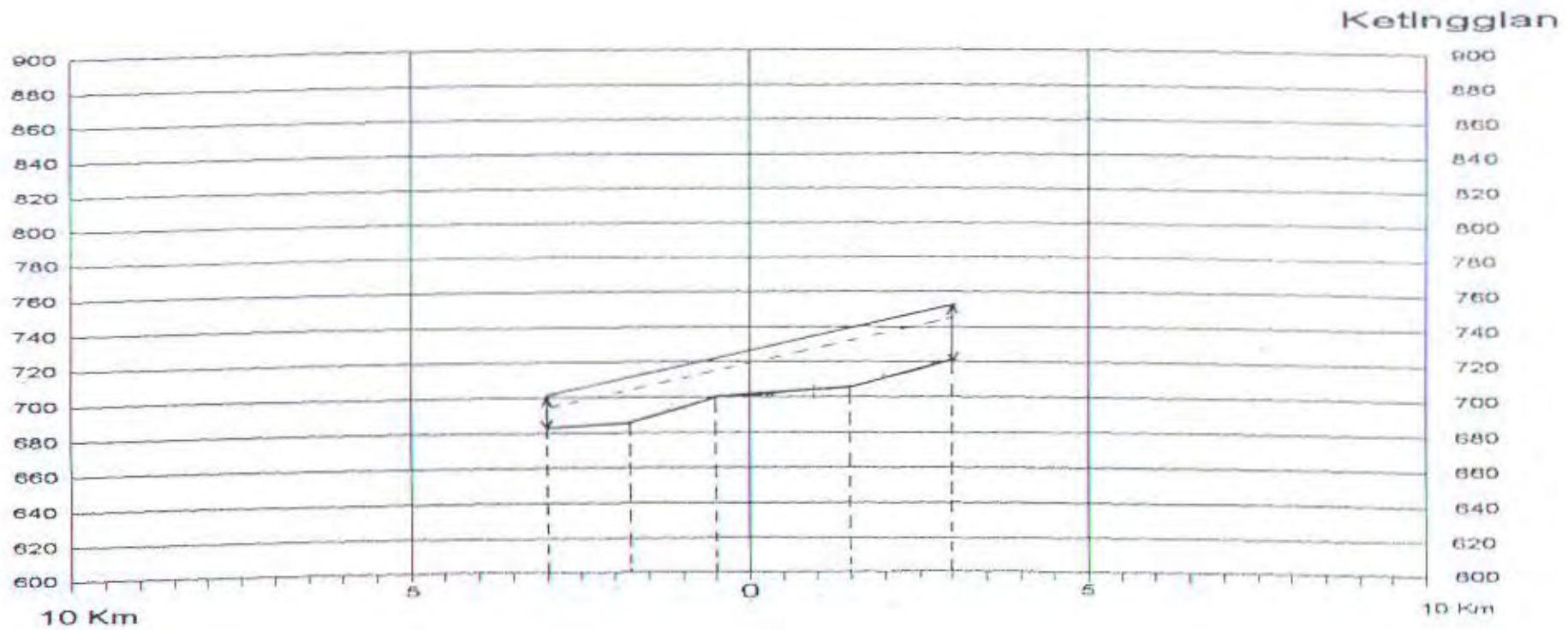
DAFTAR PUSTAKA

1. Freeman, Roger L, Radio System Design For Telecommunications (1-100 GHz), John Wiley & Sons, 1987.
2. A.A.R, Townsed, Digital Transmission Line-Of-Sight A Handbook, Prentice Hall Internasional Ltd, New York, 1988.
3. Smith, Smith R., Digital Transmission sistem, Van Norstand Reinhold Compani, New York,1987
4. CCIR Report, In Volume V, Propagation In Ionized Media, XVIth Plenary Assembly, Dunrovnik,1986
5. Winch, Robert G., Telecommunication Transmission System, MC. Graw-Hill Int, New York, 1993.
6. Freeman, Roger L., Telecommunication Ttansmission Handbook, John Wiley & Sons, 1987.
7. Data Klimatologi Dacrah Bandung, Badan Meteorologi dan Geofisika, Departemen Perhubungan, Jakarta.
8. Shanmugan, Sam K, Digital Analog Communication System, John Wiley & Sons, 1979.
9. Brown, Robert Groever, Lines, Waves, And Antennas, John Wiley & Sons, Second Edition,1973.
10. Stutzman, Warren L., Thiele, Gary A., Antena Theory And Design, John Wiley & Sons, 1981.

11. Firman, Achmad, Studi Tentang Pemanfaatan Link Gelombang Mikro Dengan Frekuensi 11 GHz Antara Gunung Sandangan - ITS (Surabaya), Tugas Akhir - ITS, Surabaya, 1990.

LAMPIRAN A
PROFIL LINTASAN BUMI

LAMPIRAN A-1

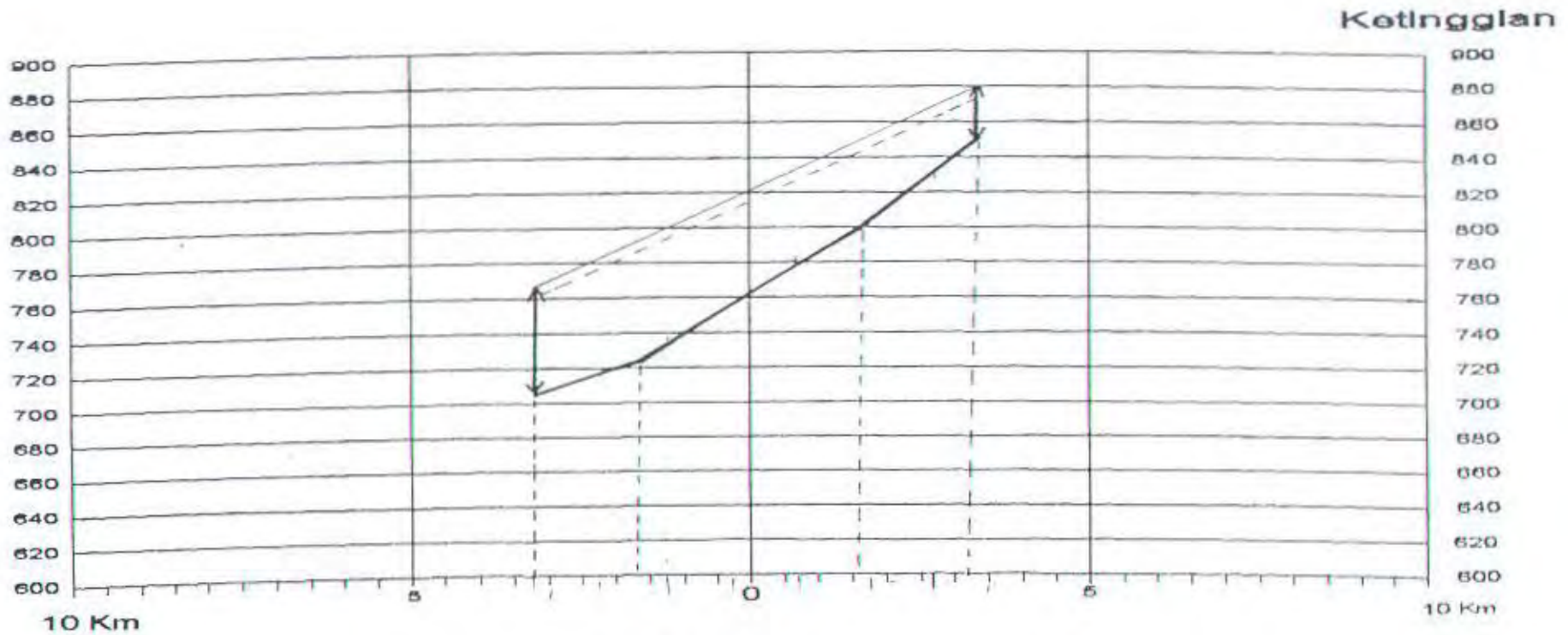


Radius bumi = 4 / 3

Jarak antara dua site : 6,0 Km

Nama Site : STO Turangga
 Ketinggian : 686 meter
 Tinggi Antena : 15 meter

Nama Site : STO Barat
 Ketinggian : 720 meter
 Tinggi Antena : 30 meter



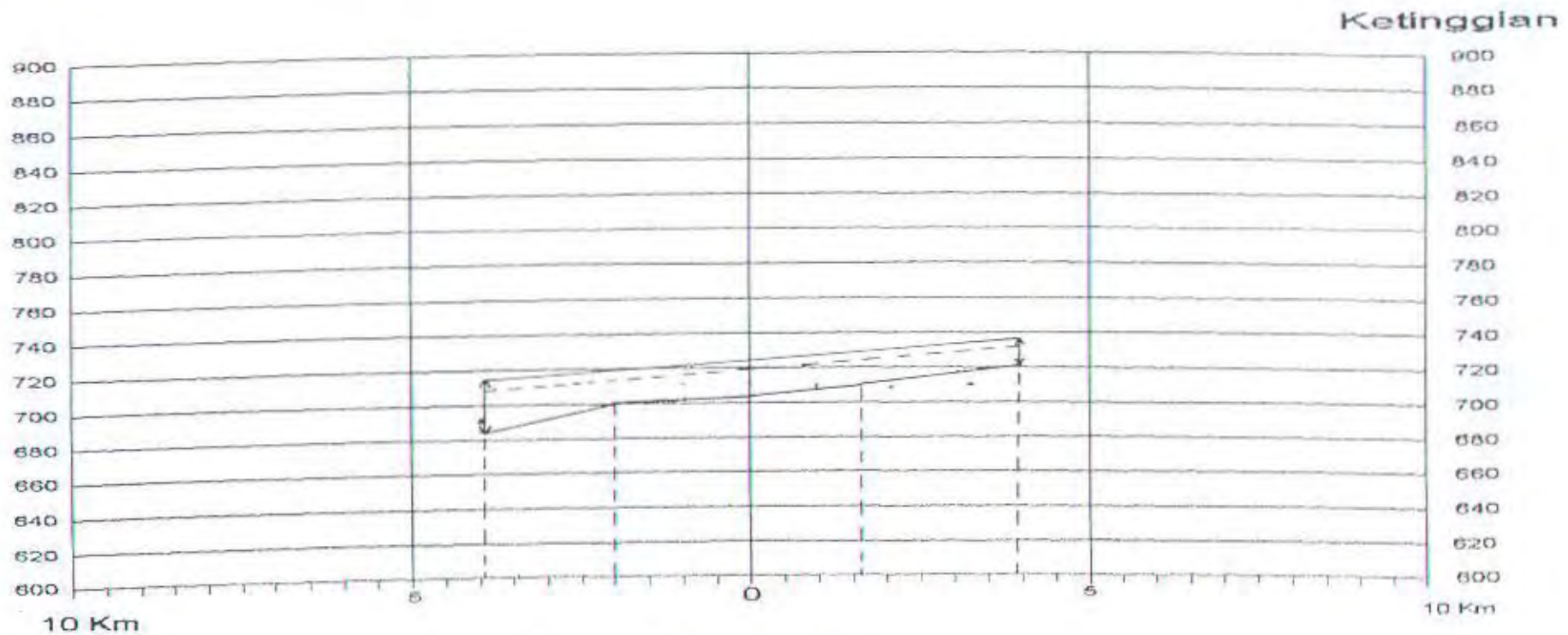
Radius bumi = $4/3$

Jarak antara dua site : 6,5 Km

Nama Site : STO Centrum
 Ketinggian : 703 meter.
 Tinggi Antena : 65 meter.

Nama Site : STO Gegerkalong
 Ketinggian : 852 meter
 Tinggi Antena : 30 meter

LAMPIRAN A-3



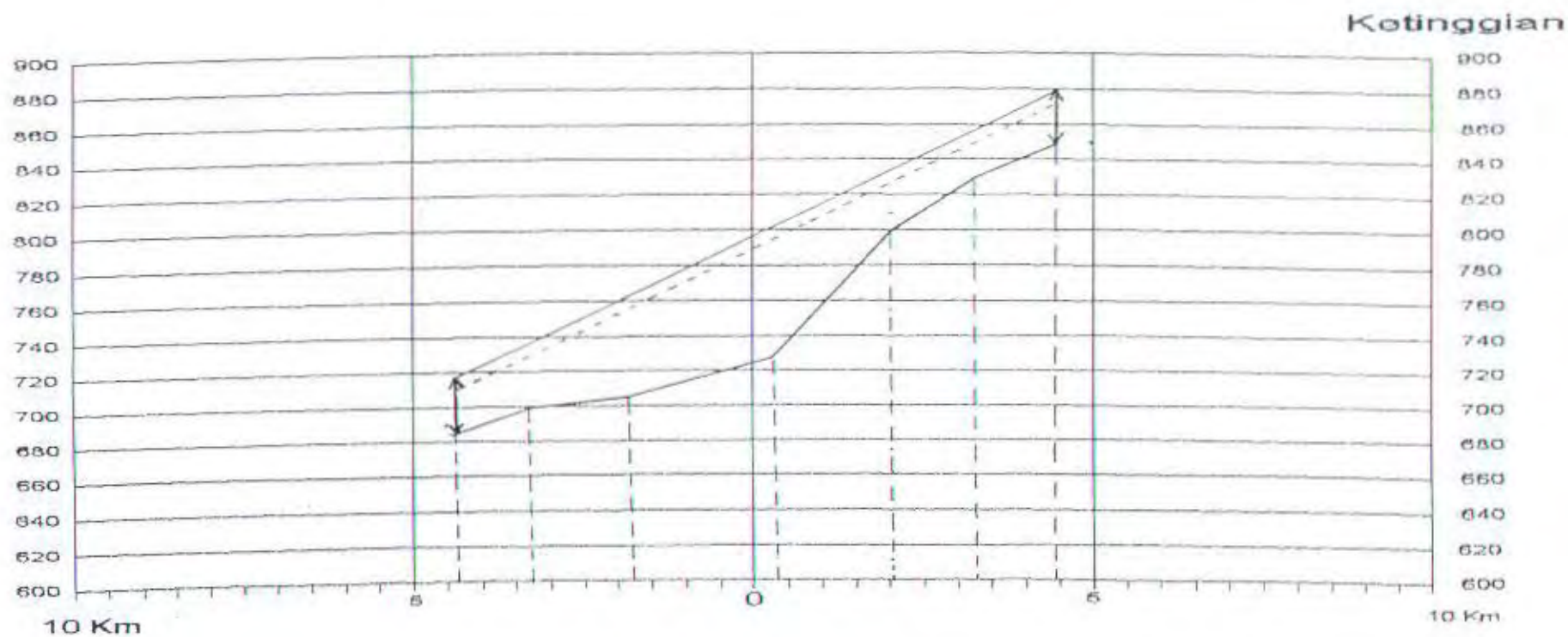
Radius bumi = 4 / 3

Jarak antara dua site : 7,9 Km

Nama Site : STO Timur
 Ketinggian : 685 meter
 Tinggi Antena : 30 meter

Nama Site : STO Barat
 Ketinggian : 720 meter
 Tinggi Antena : 15 meter

LAMPIRAN A-4



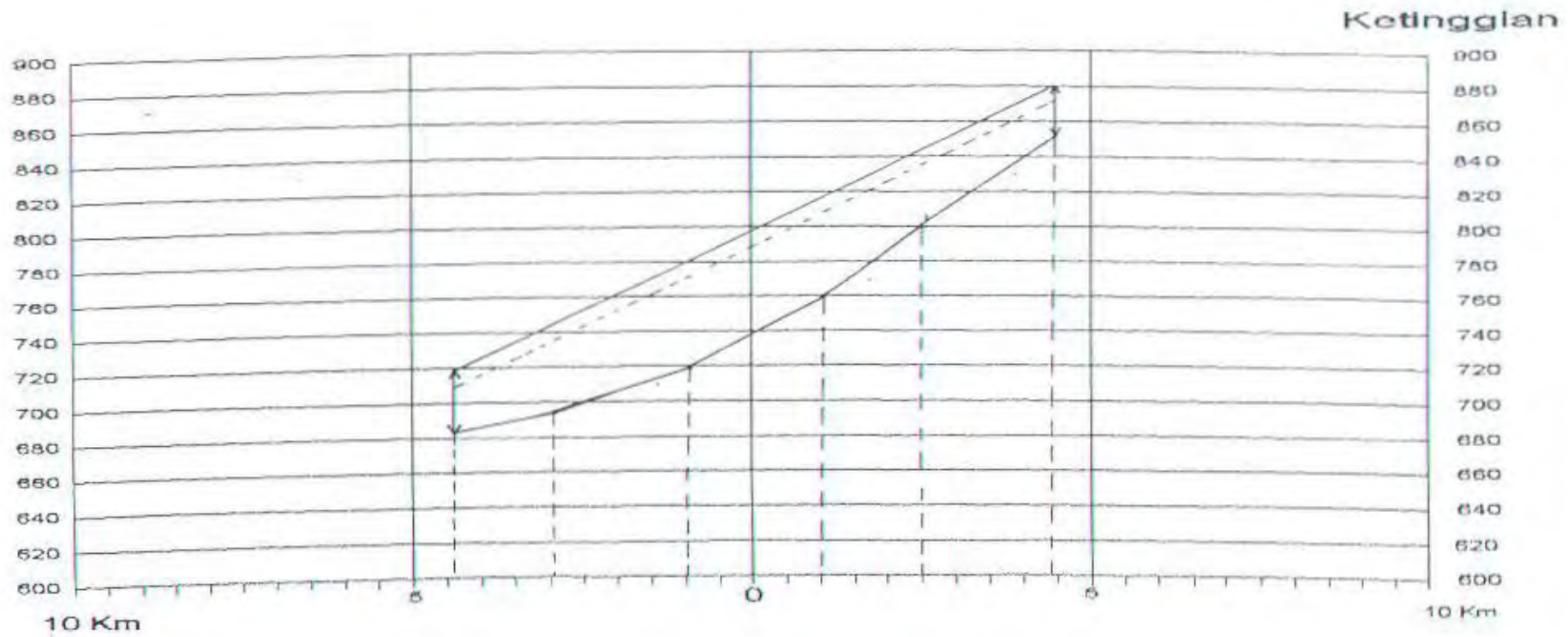
Radius bumi = 4 / 3

Jarak antara dua site : 8,7 Km

Nama Site : STO Timur
 Ketinggian : 685 meter
 Tinggi Antena : 30 meter

Nama Site : STO Gegerkalong
 Ketinggian : 852 meter
 Tinggi Antena : 30 meter

LAMPIRAN A-5



Radius bumi = $4/3$

Jarak antara dua site : 8,7 Km

Nama Site : STO Turangga
 Ketinggian : 686 meter
 Tinggi Antena : 35 meter

Nama Site : STO Gegerkalong
 Ketinggian : 852 meter
 Tinggi Antena : 30 meter

LAMPIRAN B

HASIL PERHITUNGAN LINK

No	Parameter Perencanaan	Link STO Turangga - STO Barat
1.	Frekuensi, f_r [GHz]	11.2
2.	Panjang Lintasan, d [Km]	6.5
3.	Redaman saluran pengirim [Tx]	
	a. Tinggi antena (m)	15
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	60
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi pengirim (dB)	0.552
4.	Redaman saluran penerima [Rx]	
	a. Tinggi antena (m)	30
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	75
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi penerima (dB)	0.69
5.	Redaman ruang bebas, FSL [dB]	129.047
6.	Redaman percabangan, L_b [dB]	3
7.	Redaman hujan, L_h [dB]	24.878
8.	Redaman atmosfer, L_a [dB]	0.139
9.	Redaman awan dan kabut, L_k [dB]	0.825
10.	Redaman lain, L_m [dB]	3
11.	Total redaman, L_t [dB]	162.131
12.	Daya pancar, P_t [dBm]	29
13.	Level sinyal terima minimum, RSL_m [dBm]	
	a. Kerapatan derau termal, N_0 [dBm/Hz]	-203.979
	b. Noise figure Rx, NF [dB]	3.5
	c. Kecepatan bit, R [Mbps]	140
	d. E_b/N_0 untuk BER 10^{-4} , [dB]	15.5
	e. RSL_m [dBm]	-73.539
14.	Penguatan sistem, G_s [dB]	102.539
15.	Diameter antena, d_a [m]	1.2
16.	Total Gain antena, $2 G_a$ [dB]	79.896
17.	Fading Margin, FM [dB]	20.304
18.	Probabilitas outage, P_o	
	a. Terrain faktor, a	1
	b. Faktor iklim, b	0.25
	c. P_o [%]	0.000338
	d. Reliability, R [%]	99.999662
19.	Pemakaian Diversitas Ruang	
	a. Jarak dua antena, s [m]	10
	b. Faktor perbaikan	24.224
	c. Probabilitas, P_{sd} [%]	0.0000141
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.99999
20.	Pemakaian Diversitas Frekuensi	
	a. Beda frekuensi,	0.3
	b. Faktor perbaikan	0.0341
	c. Probabilitas, P_{fd} [%]	0.00991
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.99009

No	Parameter Perencanaan	Link STO Sentrum - STO Gegerkalong
1.	Frekuensi, f_r [GHz]	11.2
2.	Panjang Lintasan, d [Km]	6.5
3.	Redaman saluran pengirim [Tx]	
	a. Tinggi antenna (m)	65
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	110
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi pengirim (dB)	1.012
4.	Redaman saluran penerima [Rx]	
	a. Tinggi antenna (m)	15
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	60
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi penerima (dB)	0.552
5.	Redaman ruang bebas, FSL [dB]	129.743
6.	Redaman percabangan, L_b [dB]	3
7.	Redaman hujan, L_h [dB]	26.833
8.	Redaman atmosfer, L_a [dB]	0.151
9.	Redaman awan dan kabut, L_k [dB]	0.894
10.	Redaman lain, L_m [dB]	3
11.	Total redaman, L_t [dB]	165.185
12.	Daya pancar, P_t [dBm]	29
13.	Level sinyal terima minimum, RSL_m [dBm]	
	a. Kerapatan derau termal, N_0 [dBm/Hz]	-203.97
	b. Noise figure Rx, NF [dB]	3.5
	c. Kecepatan bit, R [Mbps]	140
	d. E_b/N_0 untuk BER 10^{-7} , [dB]	15.5
	e. RSL_m [dBm]	-73.539
14.	Penguatan sistem, G_s [dB]	102.539
15.	Diameter antenna, d_a [m]	1.2
16.	Total Gain antenna, $2 G_a$ [dB]	79.896
17.	Fading Margin, FM [dB]	17.25
18.	Probabilitas outage, P_o	
	a. Terrain faktor, a	1
	b. Faktor iklim, b	0.25
	c. P_o [%]	0.000869
	d. Reliability, R [%]	99.999131
19.	Pemakaian Diversitas Ruang	
	a. Jarak dua antenna, s [m]	10
	b. Faktor perbaikan	11.0685
	c. Probabilitas, P_{sd} [%]	0.000078
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.99922
20.	Pemakaian Diversitas Frekuensi	
	a. Beda frekuensi,	0.3
	b. Faktor perbaikan	0.0156
	c. Probabilitas, P_{fd} [%]	0.0557
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.9443

No	Parameter Perencanaan	Link STO Timur - STO Barat
1.	Frekuensi, f_r [GHz]	11.2
2.	Panjang lintasan, d [Km]	7.9
3.	Redaman saluran pengirim [Tx]	
	a. Tinggi antena (m)	30
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	75
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi pengirim (dB)	0.69
4.	Redaman saluran penerima [Rx]	
	a. Tinggi antena (m)	15
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	60
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi penerima (dB)	0.552
5.	Redaman ruang bebas, FSL [dB]	131.437
6.	Redaman percabangan, L_b [dB]	3
7.	Redaman hujan, L_h [dB]	30.709
8.	Redaman atmosfer, L_a [dB]	0.184
9.	Redaman awan dan kabut, L_k [dB]	1.086
10.	Redaman lain, L_m [dB]	3
11.	Total redaman, L_t [dB]	170.658
12.	Daya pancar, P_t [dBm]	29
13.	Level sinyal terima minimum, RSL_m [dBm]	
	a. Kerapatan derau termal, N_0 [dBm/Hz]	-203.97
	b. Noise figure Rx, NF [dB]	3.5
	c. Kecepatan bit, R [Mbps]	140
	d. E_b/N_0 untuk BER 10^{-7} , [dB]	15.5
	e. RSL_m [dBm]	-73.539
14.	Penguatan sistem, G_s [dB]	102.539
15.	Diameter antena, d_a [m]	1.2
16.	Total Gain antena, $2 G_a$ [dB]	79.896
17.	Fading Margin, FM [dB]	11.777
18.	Probabilitas outage, P_o	
	a. Terrain faktor, a	1
	b. Faktor iklim, b	0.25
	c. P_o [%]	0.0055
	d. Reliability, R [%]	99.9945
19.	Pemakaian Diversitas Ruang	
	a. Jarak dua antena, s [m]	10
	b. Faktor perbaikan	2.583
	c. Probabilitas, P_{sd} [%]	0.00213
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.99787
20.	Pemakaian Diversitas Frekuensi	
	a. Beda frekuensi,	0.3
	b. Faktor perbaikan	0.00365
	c. Probabilitas, P_{fd} [%]	1.506
	d. Reliability, R_{sd} [%]	98.494

No	Parameter Perencanaan	Link STO Timur - STO Gegerkalong
1.	Frekuensi, f_r [GHz]	11.2
2.	Panjang lintasan, d [Km]	8.7
3.	Redaman saluran pengirim [Tx]	
	a. Tinggi antena (m)	15
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	60
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi pengirim (dB)	0.552
4.	Redaman saluran penerima [Rx]	
	a. Tinggi antena (m)	30
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	75
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi penerima (dB)	0.69
5.	Redaman ruang bebas, FSL [dB]	132.274
6.	Redaman percabangan, L_b [dB]	3
7.	Redaman hujan, L_h [dB]	32.951
8.	Redaman atmosfer, L_a [dB]	0.2022
9.	Redaman awan dan kabut, L_k [dB]	1.196
10.	Redaman lain, L_m [dB]	3
11.	Total redaman, L_t [dB]	173.8652
12.	Daya pancar, P_t [dBm]	29
13.	Level sinyal terima minimum, RSL_m [dBm]	
	a. Kerapatan derau termal, N_0 [dBm/Hz]	-203.979
	b. Noise figure Rx, NF [dB]	3.5
	c. Kecepatan bit, R [Mbps]	140
	d. E_b/N_0 untuk BER 10^{-4} , [dB]	15.5
	e. RSL_m [dBm]	-73.539
14.	Penguatan sistem, G_s [dB]	102.539
15.	Diameter antena, d_a [m]	1.2
16.	Total Gain antena, $2 G_a$ [dB]	79.896
17.	Fading Margin, FM [dB]	8.57
18.	Probabilitas outage, P_o	
	a. Terrain faktor, a	1
	b. Faktor iklim, b	0.25
	c. P_o [%]	0.01537
	d. Reliability, R [%]	99.9846
19.	Pemakaian Diversitas Ruang	
	a. Jarak dua antena, s [m]	10
	b. Faktor perbaikan	1.121
	c. Probabilitas, P_{sd} [%]	0.0137
	d. Reliability, R_{sd} [%]	99.9863
20.	Pemakaian Diversitas Frekuensi	
	a. Beda frekuensi,	0.3
	b. Faktor perbaikan	0.00158
	c. Probabilitas, P_{fd} [%]	9.727
	d. Reliability, R_{sd} [%]	90.273

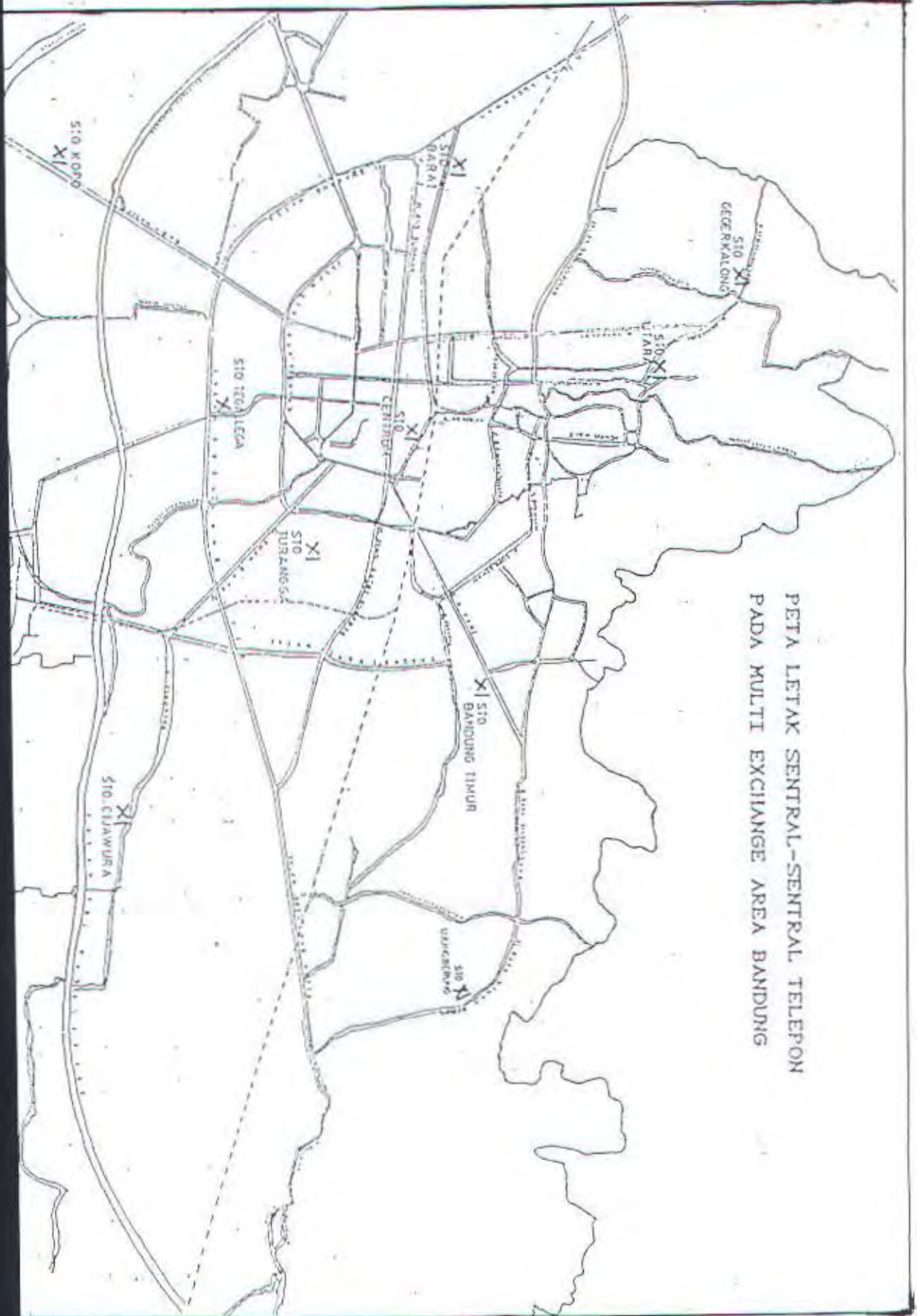
No	Parameter Perencanaan	Link STO Turangga - Gegerkalong
1.	Frekuensi, f_r [GHz]	11.2
2.	Panjang Lintasan, d [Km]	8.7
3.	Redaman saluran pengirim [Tx]	
	a. Tinggi antena (m)	15
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	60
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi pengirim (dB)	0.552
4.	Redaman saluran penerima [Rx]	
	a. Tinggi antena (m)	30
	b. Panjang horisontal feeder (m)	45
	c. Panjang total (m)	75
	d. Feeder loss faktor (dB/Km)	0.0092
	e. Total loss saluran transmisi penerima (dB)	0.69
5.	Redaman ruang bebas, FSL [dB]	132.274
6.	Redaman percabangan, L_b [dB]	3
7.	Redaman hujan, L_h [dB]	32.951
8.	Redaman atmosfer, L_a [dB]	0.2022
9.	Redaman awan dan kabut, L_k [dB]	1.196
10.	Redaman lain, L_m [dB]	3
11.	Total redaman, L_t [dB]	173.8652
12.	Daya pancar, P_t [dBm]	29
13.	Level sinyal terima minimum, RSL_m [dBm]	
	a. Kerapatan derau termal, N_0 [dBm/Hz]	-203.979
	b. Noise figure Rx, NF [dB]	3.5
	c. Kecepatan bit, R [Mbps]	140
	d. E_b/N_0 untuk BER 10^{-7} , [dB]	15.5
	e. RSL_m [dBm]	-73.539
14.	Penguatan sistem, G_s [dB]	102.539
15.	Diameter antena, d_a [m]	1.2
16.	Total Gain antena, $2 G_a$ [dB]	79.896
17.	Fading Margin, FM [dB]	8.57
18.	Probabilitas outage, P_o	
	a. Terrain faktor, a	1
	b. Faktor iklim, b	0.25
	c. P_o [%]	0.01537
	d. Realibility, R [%]	99.9846
19.	Pemakaian Diversitas Ruang	
	a. Jarak dua antena, s [m]	10
	b. Faktor perbaikan	1.121
	c. Probabilitas, P_{sd} [%]	0.0137
	d. Realibility, R_{sd} [%]	99.9863
20.	Pemakaian Diversitas Frekuensi	
	a. Beda frekuensi,	0.3
	b. Faktor perbaikan	0.00158
	c. Probabilitas, P_{fd} [%]	9.727
	d. Realibility, R_{sd} [%]	90.273

LAMPIRAN C

PETA LOKASI DAN POLA PENENTUAN RUTE

DI MEA BANDUNG

PETA LETAK SENTRAL-SENTRAL TELEPON
PADA MULTI EXCHANGE AREA BANDUNG



LAMPIRAN D

SPESIFIKASI DM - 11G - 1000 H

SPESIFIKASI TEKNIS DM - 11G - 1000 H

A. Umum

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Frekuensi Range | : 10715 - 11685 MHz. |
| 2. Sistem Modulasi | : 16 - QAM. |
| 3. Pulsa Rate | : 140 Mbps. |
| 4. RF CH Bandwidth | : 80 MHz (single polarizatio).
40 MHz (double polarization). |
| 5. Efisiensi Transmisi | : 3.5 Bit/s/Hz. |
| 6. Repeating | : Regeneratif. |

B. Transmitter

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. Transmitter Out Power | : 29 dBm |
| 2. Frequency Stability | : 1×10^{-5} |
| 3. Frequency IF | : 70 MHz |
| 4. Input Level IF | : -10 dBm/ 75 Ohm |

C. Receiver

- | | |
|---------|---------------------|
| 1. Type | : Single Conversion |
|---------|---------------------|

SPESIFIKASI TEKNIS DM - 11G - 1000 H

2. IF Frequency	: 70 MHz
3. Noise Figure	: 3.5
4. RF Input Level	: - 30 dBm (standard) - 15 dBm (maximum)
5. Selectivity	: - 78.9 dBm For BER 1 x 10 ⁻³ - 75.1 dBm For BER 1 x 10 ⁻⁶
6. Power Supply	: - 24 Vdc (-19.2 to -28.8 V)
7. Input Voltage	: - 48 Vdc (-40 to -58)

20 OCT 1998

Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro - ITS

EL - 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama Mahasiswa	: Achmad Soebalri
Nomor Pokok	: 2295 109 027
Bidang Studi	: Telekomunikasi
Tugas diberikan	: September 1998
Dosen Pembimbing	: Ir. Faisal Gunawan Ir. Djoko Suprajitno Rahardjo

Judul Tugas Akhir :

**PERENCANAAN SISTEM KOMUNIKASI DI MEA BANDUNG
DENGAN MENGGUNAKAN FREKUENSI KU-BAND**

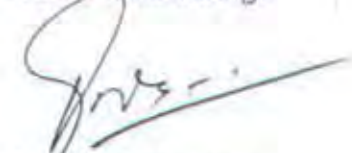
Uraian Tugas Akhir :

Penyampaian informasi melalui penggunaan frekuensi radio merupakan salah satu alternatif yang patut diperhitungkan sebagai pengganti penggunaan dari saluran kabel. Salah satu sistem yang disarankan untuk digunakan adalah sistem transmisi gelombang mikro dengan frekuensi KU-Band.

Penggunaan Frekuensi KU-Band untuk sistem komunikasi ini mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya ukuran antena yang kecil dan lebar pita yang besar sehingga akan membawa informasi yang lebih tinggi, namun karena KU-Band berada pada frekuensi diatas 10 Ghz, maka faktor-faktor redaman dan pengaruh atmosfer perlu diperhitungkan.

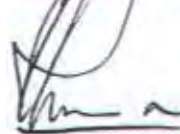
Pada tugas akhir ini mencoba menganalisa kemungkinan penggunaan frekuensi KU-Band untuk sistem komunikasi digital antar sentral yang ada di Multi Area Exchange Bandung.

Dosen Pembimbing I



Ir. Faisal Gunawan
NIP. 130 325 773

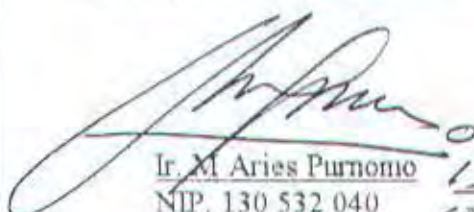
Surabaya, September 1998
Dosen Pembimbing II



Ir. Djoko Suprajitno Rahardjo
NIP. 131 651 447

Mengetahui,
Koordinator

Bidang Studi Teknik Telekomunikasi

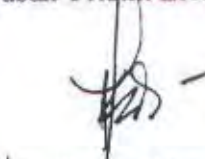


13 20
10

Ir. M. Aries Purnomo
NIP. 130 532 040



Menyetujui,
Ketua
Jurusan Teknik Elektro



Ir. Teguh Yuwono
NIP. 130 604 244

Usulan Tugas Akhir

- A. Judul : Perencanaan Sistem Komunikasi Di MEA Bandung Dengan Menggunakan Frekuensi KU-Band
- B. Ruang Lingkup : - Teknik Jaringan Telekomunikasi
- Sistem Komunikasi Gelombang Mikro
- Sistem Komunikasi Satelit
- C. Latar Belakang : - Perkembangan Jasa telekomunikasi yang semakin pesat
- Peningkatan jumlah pemasangan telepon
- Pengembangan teknologi komunikasi
- Persaingan di dalam jasa telekomunikasi
- Peningkatan sosial ekonomi masyarakat
- D. Penelaahan Studi : Dengan semakin berkembangnya teknologi komunikasi ini, Semakin berkembang pula teknologi dalam penyampaian informasi. Penggunaan saluran kabel untuk penyampaian informasi pada era sekarang ini banyak mengalami kendala, diantaranya sulitnya melaksanakan penggalian tanah untuk saluran kabel jika jaringan tersebut melintasi jalan utama, jalan tol ataupun bangunan yang ada.
- Mengingat kondisi yang demikian dan pertimbangan untuk mempertahankan lokasi sentral-sentral yang ada, maka penggunaan frekuensi radio untuk penyampaian informasi adalah suatu hal yang patut diperhitungkan. Salah satu sistem yang disarankan untuk digunakan adalah sistem transmisi gelombang mikro digital dengan frekuensi KU-Band.
- E. Metodologi : Metodologi yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini adalah Dengan Studi dan analisis data lapangan serta studi kepustakaan

F. Tujuan : Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk mempelajari dan menganalisis tentang kemungkinan penggunaan frekuensi KU-Band untuk sistem komunikasi teristerial antar sentral yang ada di Multi Exchange Area Bandung.

G. Relevansi : Dengan adanya pembahasan tentang penggunaan frekuensi KU-Band pada MEA Bandung diharapkan sistem ini dapat digunakan sebagai pengganti dari sistem penyampaian informasi yang menggunakan sistem saluran kabel biasa.

H. Jadwal Kegiatan :

JENIS KEGIATAN	BULAN					
	1	2	3	4	5	6
1. Studi Literatur						
2. Mengumpulkan data						
3. Pembahasan/ Analisa data						
4. Penyusunan Buku						

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Achmad Soebairi
Tempat/ Tgl Lahir : Surabaya, 18 April 1970
Alamat : Jl. Rotan 1 PPI Gresik
Putra Ke : 2 (dua)
Nama Ayah : Karto
Nama Ibu : Supiah
Alamat Orang Tua : Simomulyo Baru 04E/3 Surabaya

Pendidikan :

- Menyelesaikan Pendidikan SD di SDN II Simomulyo Surabaya Tahun 1984
- Menyelesaikan Pendidikan SLTP di SMPN 25 Surabaya Tahun 1987
- Menyelesaikan Pendidikan SLTA di SMAN II Surabaya Tahun 1990
- Menyelesaikan Pendidikan Program D3 di Politeknik Elektronika ITS Surabaya Pada tahun 1994
- Menjalani pendidikan S1 di ITS - Teknik Elektro (Teknik Telekomunikasi) pada tahun 1995 sampai dengan sekarang

Pengalaman Kerja :

- Bekerja di PT. Petrokimia Gresik (Persero) pada tahun 1994 - Sekarang